

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

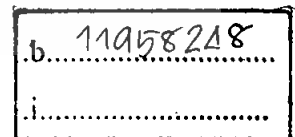
การศึกษา วิเคราะห์ และเปรียบเทียบเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้า
ของโรงจักรไฟฟ้าพลังงานทางเลือก และพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์ศักยภาพ
พลังงานลม

(The Study, Analysis and Comparison Technology
of Alternative Energy Power Plant, And Program Development for
Wind Energy Analysis)



รพ.
๗๖๖๖๑๗
๒๕๕๐

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....**82961**
วัน,เดือน,ปี...**30.0.๒.2551**!



ปฏิญานีพจน์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

ปีการศึกษา 2550

การศึกษา วิเคราะห์ และเปรียบเทียบเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้า
ของโรงจักรไฟฟ้าพลังงานทางเลือก และพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์ศักยภาพ
พลังงานลม

(The Study, Analysis and Comparison Technology
of Alternative Energy Power Plant, And Program Development for
Wind Energy Analysis)



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์

ดร.ชาย ชมภูอินไหว

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษา วิเคราะห์ และเปรียบเทียบเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าของโรงจักร
ไฟฟ้าพลังงานทางเลือก และพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานลม

ผู้จัดทำ



.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.มณฑล สীลาจินดาไกรฤกษ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร.ชาย ชมภูอินไหว)

การศึกษา วิเคราะห์ และเปรียบเทียบเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้า
ของโรงจักรไฟฟ้าพลังงานทางเลือก และพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์ศักยภาพ
พลังงานลม

นาย ณัฐวุฒิ พิทักษ์ธีระธรรม รหัส 47010242
นาย อธิป ตำนกุล รหัส 47010923
นาย อภินันท์ ไหลพานิช รหัส 47010937
นาย อาทิตย์ ทองถาวรวงศ์ รหัส 47010978
รศ.มณฑล สีลาจินตาไกรฤกษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ดร.ชาย ชมภูอินไหว อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์เล่มนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์เปรียบเทียบเทคโนโลยีการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงจักรไฟฟ้าพลังงานทางเลือก 3 โรงจักร (โรงจักรไฟฟ้าพลังงานลม, โรงจักรไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก และโรงจักรไฟฟ้าชีวมวล) การวิเคราะห์จะมีทั้งทางด้านเทคนิคและทางด้านเศรษฐศาสตร์ รวมถึงการออกแบบโปรแกรมวิเคราะห์ความเร็วลมเพื่อใช้เป็นประโยชน์ในการศึกษาความเหมาะสมสำหรับการติดตั้งกังหันลมต่อไป เริ่มต้นจากการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานของโรงจักรไฟฟ้าพลังงานทางเลือกทั้ง 3 โรงจักร จากนั้นทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบ โดยเฉพาะทางด้านเทคนิคนั้นแบ่งการศึกษาและวิเคราะห์ ออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนของตัวต้นกำลัง ส่วนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และส่วนของการควบคุม สำหรับโรงจักรไฟฟ้าพลังงานลมจะมีการออกแบบและสร้างโปรแกรมวิเคราะห์ความเร็วลม นำไปสู่การวิเคราะห์ศักยภาพของพลังงานลม ทั้งนี้เพื่อใช้สำหรับเป็นตัวช่วยในการศึกษาเกี่ยวกับการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงจักรไฟฟ้าพลังงานลมและช่วยในการตัดสินใจเบื้องต้นของผู้ที่สนใจลงทุนสร้างโรงจักรไฟฟ้าพลังงานลม

**The Study, Analysis and Comparison Technology
of Alternative Energy Power Plant, And Program Development for
Wind Energy Analysis**

Nutthawut Pitaktheerathum

Atip Dankul

Apinan Laipanich

Atit Tongthawornwong

Assoc.Prof.Monthon Leelachindaikaileak Advisor

Dr.Chai Chompoo-inwai Advisor

2007

ABSTRACT

This project studies about analysis, comparison technology of three alternative energy power plants (Wind power plant, Small hydro power plant and Biomass power plant) and also design program for wind's velocity analysis. The first stage of studying pursues the basis theory of three alternative energy power plants, then analysis and comparison by both of technical and economical. In technical part, it has three sections such as prime mover section, generator section and control section. For wind power plant, it has also design program for wind's velocity analysis.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี เนื่องด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาที่เป็นประโยชน์อย่างสูง ในการทำปริญญาานิพนธ์และโครงการนี้จากท่าน ดร.ชาย ชมพูอินไหว และ รศ.มณฑล สีสลาจินดาไกรฤกษ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์ ทางคณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์ที่ดีเยี่ยมจากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ ESIRC สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ และขอขอบคุณพี่ๆนักวิจัยทุกคน สำหรับคำแนะนำดีๆ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ รวมทั้งให้โอกาสในการทำปริญญาานิพนธ์นี้ขึ้นมา

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ผู้เป็นผู้ให้ทุกสิ่งทุกอย่างเสมอมา คุณค่า และประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ทางคณะผู้จัดทำขอขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน ไว้ ณ โอกาสนี้

คณะผู้จัดทำปริญญาานิพนธ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VI
สารบัญตาราง.....	IX

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ.....	2
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ.....	2
1.5 แผนการดำเนินโครงการ.....	2
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	3
1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญานิพนธ์.....	3

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ส่วนนำ.....	4
2.2 ทฤษฎีที่ 1 : รูปแบบเทคโนโลยีของโรงจักรไฟฟ้าพลังงานลม.....	4
2.3 ทฤษฎีที่ 2 : รูปแบบเทคโนโลยีของโรงจักรไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก.....	8
2.4 ทฤษฎีที่ 3 : รูปแบบเทคโนโลยีของโรงจักรไฟฟ้าชีวมวล.....	11
2.5 ทฤษฎีที่ 4 : การวิเคราะห์ความเร็วลมเพื่อติดตั้งกังหันลม.....	16

บทที่ 3 การออกแบบการทดลอง

3.1 โรงจักรไฟฟ้าพลังงานลม.....	24
3.2 โรงจักรไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก.....	36
3.3 โรงจักรไฟฟ้าชีวมวล.....	49

บทที่ 4 สรุปผลแนวทางการเลือกใช้เทคโนโลยี

4.1 ด้านเทคนิค.....	63
4.2 ทางด้านเศรษฐศาสตร์.....	66

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 รายละเอียดและวิธีการใช้งานโปรแกรม	
5.1 การวิเคราะห์ความเร็วลมโดยใช้แบบจำลองทางสถิติ.....	72
5.2 วิธีการใช้งานโปรแกรม.....	76
5.3 ผลการทดลอง.....	84
ภาคผนวก.....	86
บรรณานุกรม	
ประวัติผู้จัดทำ	



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 กังหันลมแบบ A.....	6
2.2 กังหันลมแบบ B.....	6
2.3 กังหันลมแบบ C.....	7
2.4 กังหันลมแบบ D.....	7
2.5 การเปลี่ยนแปลงรูปพลังงานของพลังงานน้ำ.....	8
2.6 แสดงลักษณะและส่วนประกอบของโครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก.....	10
2.7 แผนภาพโรงไฟฟ้าที่ใช้ความร้อนจากกระบวนการเผาไหม้โดยตรง.....	12
2.8 แผนภาพโรงไฟฟ้าที่ใช้ความร้อนจากกระบวนการผลิตก๊าซ.....	14
2.9 แผนภาพการผลิตพลังงานร่วมแบบผลิตไฟฟ้านำหน้า.....	16
2.10 แผนภาพการผลิตพลังงานร่วมแบบผลิตไฟฟ้าตามหลัง.....	16
2.11 การกระจายค่าความเร็วลมโดยวิธีการ Weibull distribution เมื่อความเร็วลมเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 6.5 m/s และ ค่า Weibull shape factor (k) เปลี่ยนแปลง.....	20
2.12 แสดงการเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ความเร็วลมโดยใช้แบบจำลองแบบ Weibull กับ Rayleigh Distribution.....	22
3.1 กังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบแกนนอนและแบบแกนตั้ง.....	25
3.2 รูปแบบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ในโรงจักรพลังงานลม.....	26
3.3 การต่อความต้านทานเข้ากับวงจรโรเตอร์.....	32
3.4 การใช้ดีซีชอปเปอร์ควบคุมความเร็วของมอเตอร์แบบวารัลโรเตอร์.....	32
3.5 ระบบขับเคลื่อนเครเมอร์แบบสถิต.....	33
3.6 วงจรภาคกำลังของระบบขับเคลื่อนเซอร์เบียสแบบสถิต.....	34
3.7 วงจรภาคกำลังของเซอร์เบียสคอนเวทเตอร์ต่อแบบ back to back.....	34
3.8 แสดงตัวอย่างของกังหันน้ำเฟลตั้น.....	37
3.9 แสดงตัวอย่างของกังหันน้ำเทอร์โก.....	37
3.10 แสดงตัวอย่างของกังหันน้ำโครสโฟลว์.....	38
3.11 แสดงตัวอย่างของกังหันน้ำแบบฟรานซิส.....	39
3.12 แสดงตัวอย่างของกังหันน้ำแบบใบพัดตายตัว.....	39
3.13 แสดงตัวอย่างของกังหันน้ำแบบคาปลาน.....	40
3.14 แสดงตัวอย่างของ Bulb turbines.....	40
3.15 แสดงประสิทธิภาพการแปลงรูปพลังงานของกังหันน้ำ.....	41
3.16 กราฟแสดงพื้นที่การใช้งานของกังหันน้ำ.....	41
3.17 แสดงโรเตอร์ที่เป็นลักษณะแบบขั้วยื่น.....	42

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.18 แสดงลักษณะโรเตอร์ที่มีลักษณะเป็นแบบขั้วยื่น (Salient pole).....	43
3.19 Governor function.....	44
3.20 แสดงบล็อกไดอะแกรม ของ Excitation Control System.....	45
3.21 แสดงการควบคุมแบบ Rotating DC commutator.....	46
3.22 แสดงการควบคุมแบบ Rotating AC alternator.....	46
3.23 แสดงการควบคุมแบบ static.....	47
3.24 แผนภาพแสดงประสิทธิภาพของระบบการผลิตแยกและระบบการผลิตร่วม.....	50
3.25 แผนผังระบบผลิตพลังงานร่วมโดยใช้กังหันไอน้ำ.....	51
3.26 กังหันไอน้ำแบบ Condensing Extraction Turbine.....	52
3.27 กังหันไอน้ำแบบ Back Pressure Turbine.....	53
3.28 แผนผังระบบผลิตพลังงานร่วมโดยใช้กังหันก๊าซ.....	54
3.29 แผนผังระบบผลิตพลังงานโดยใช้เครื่องยนต์สันดาปภายใน.....	56
3.30 อธิบายการทำงานของ 4-Stokes Cycle.....	57
3.31 แสดงลักษณะของ Wound rotor.....	59
5.1 หลักการทำงานของโปรแกรม.....	71
5.2 ตัวอย่างตารางแจกแจงความถี่ของความเร็วลม.....	73
5.3 ตัวอย่าง Curve fitting การกระจายความถี่ความเร็วลม.....	73
5.4 กราฟการผลิตกำลังไฟฟ้าของกังหันลม.....	74
5.5 ขั้นตอนการกรอก Duration.....	76
5.6 ขั้นตอนการเลือกข้อมูลของ Wind Turbine.....	77
5.7 ขั้นตอนในการเลือกข้อมูลของ Wind Turbine จาก ฐานข้อมูล (Database).....	77
5.8 ขั้นตอนในการกรอกข้อมูลของ Wind Turbine ตัวใหม่.....	78
5.9 ขั้นตอนการเลือกรูปแบบการวิเคราะห์การกระจายข้อมูลความเร็วลม (Distribution).....	78
5.10 ขั้นตอนการเลือกรูปแบบการวิเคราะห์การกระจายข้อมูลความเร็วลมแบบ Weibull Distribution.....	79
5.11 ขั้นตอนการวิเคราะห์การกระจายข้อมูลความเร็วลมแบบ Weibull Distribution.....	80
5.12 ขั้นตอนการเลือกรูปแบบการวิเคราะห์การกระจายข้อมูลความเร็วลมแบบ Rayleigh Distribution.....	80
5.13 ขั้นตอนการวิเคราะห์การกระจายข้อมูลความเร็วลมแบบ Rayleigh Distribution กรณี New Place.....	81

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.14 ขั้นตอนการวิเคราะห์การกระจายข้อมูลความเร็วลมแบบ Rayleigh Distribution กรณี Select Place.....	82
5.15 ขั้นตอนการแสดงกราฟ Probability Density.....	82
5.16 แสดงค่า Total Energy (Et) และ Capacity Factor (Cf).....	83



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ประเภทของกังหันที่มีการผลิตหรือนำมาใช้งาน.....	7
3.1 แสดงรายละเอียดต่างๆของราคาเงินลงทุน (ล้านเหรียญสหรัฐ).....	48
3.2 แสดงรายละเอียดของราคาทั้งหมด.....	49
3.3 พารามิเตอร์ต่างๆของระบบผลิตพลังงานร่วมแบบผลิตกำลังไฟฟ้านำหน้าทั้ง 3 ชนิด.....	58
3.4 แสดงการเปรียบเทียบ Cost component และ unit cost ของแต่ละโรงจักร.....	62
4.1 อัตราค่ารับซื้อไฟฟ้าของ กฟภ. ที่รับซื้อจากผู้ผลิตไฟฟ้าประเภท VSPP.....	69
5.1 แสดงค่าการหาค่า k และ c โดยวิธี Weibull และ Rayleigh จากข้อมูลความเร็วลมที่ เชียงใหม่และเกาะเต่า.....	84
5.2 แสดงค่าการหา E_f และ C_f โดยวิธี Weibull และ Rayleigh จากข้อมูลความเร็วลมที่ เชียงใหม่และเกาะเต่า โดยใช้ Wind Turbine Vesta V80 2MW.....	85
5.3 แสดงค่าการหา E_f และ C_f โดยวิธี Weibull และ Rayleigh จากข้อมูลความเร็วลมที่ เชียงใหม่และเกาะเต่า โดยใช้ Wind Turbine Ecotecnia 80 2MW.....	85



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา (Background)

ในปัจจุบันพลังงานไฟฟ้าถือว่ามีสำคัญอย่างมาก สิ่งอำนวยความสะดวกมากมายที่อยู่รอบตัวเราล้วนมีความต้องการที่จะใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งนั้น นอกจากนี้พลังงานไฟฟ้ายังถือว่าเป็นองค์ประกอบพื้นฐานที่จะนำไปใช้ในการพัฒนาประเทศต่อไป ด้วยเหตุนี้เอง ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าจึงเพิ่มสูงขึ้นอยู่ตลอดเวลา การเพิ่มกำลังการผลิตจึงมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อความต้องการที่เพิ่มขึ้นนี้ การสร้างโรงจักรไฟฟ้าก็ถือว่าเป็นการเพิ่มกำลังการผลิตอย่างหนึ่ง โดยเป็นการเพิ่มหน่วยผลิต ดังนั้นการเลือกโรงจักรที่จะใช้เพิ่มกำลังผลิตนั้นเป็นสิ่งสำคัญ ควรทำการศึกษาเป็นอย่างดีในเรื่องของความเหมาะสมของรูปแบบเทคโนโลยีการผลิต เรื่องขนาดและสถานที่ตั้ง รวมถึงปัญหาและผลกระทบที่เกิดขึ้นด้วย เพื่อจะได้โรงจักรที่มีประสิทธิภาพสูงและมีต้นทุนการผลิตที่ลดลง เป็นผลทำให้ราคาต่อหน่วยผลิตถูกลง การเลือกใช้โรงจักรที่ใช้พลังงานทางเลือกอย่างเช่น ชีวมวล พลังงานน้ำขนาดเล็ก และพลังงานลม จึงเป็นสิ่งสำคัญที่ควรพิจารณา

ปริญญาโทได้ทำการศึกษา วิเคราะห์ และเปรียบเทียบตัวอย่างโรงจักรไฟฟ้าพลังงานทางเลือกที่จัดอยู่ในประเภท VSPP (ขนาดกำลังผลิตไม่เกิน 10 MW) โดยในส่วนของการวิเคราะห์จะมีการวิเคราะห์ทั้งด้านเทคนิคและด้านเศรษฐศาสตร์ ในที่นี้จะเลือกศึกษาโรงจักรไฟฟ้าชีวมวล โรงจักรพลังน้ำขนาดเล็ก และโรงจักรพลังงานลม นอกจากนี้ยังมีการจัดทำโปรแกรมเพื่อนำข้อมูลความเร็วลมมาวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองทางสถิติ เพื่อนำไปสู่เรื่องการศึกษาในเรื่องของขนาดและที่ตั้งที่เหมาะสมในประเทศไทยของโรงจักรไฟฟ้าพลังงานลมต่อไป โดยใช้การเขียนโปรแกรม Visual Basic 6.0

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ (Project Objectives)

1) เพื่อศึกษา วิเคราะห์ และเปรียบเทียบรูปแบบเทคโนโลยีที่มีอยู่ของโรงจักรไฟฟ้าพลังงานทางเลือกที่จัดอยู่ในประเภท VSPP โดยทำการวิเคราะห์ทั้งทางด้านเทคนิคและทางด้านเศรษฐศาสตร์

2) จัดทำโปรแกรมเพื่อนำข้อมูลความเร็วลมมาวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองทางสถิติ เพื่อนำไปสู่เรื่องการศึกษาในเรื่องของขนาดและที่ตั้งที่เหมาะสมในประเทศไทยของโรงจักรไฟฟ้าพลังงานลมต่อไป

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ (Scope of the project)

ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับตัวอย่างโรงจักรไฟฟ้าพลังงานทางเลือก ประเภท VSPG และนำมาคิดวิเคราะห์ เปรียบเทียบรูปแบบเทคโนโลยีที่มีอยู่ในการผลิตกระแสไฟฟ้า พร้อมทั้งเลือกประเภทของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหมาะสมกับโรงจักรแต่ละประเภทได้ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด พร้อมทั้งในส่วนของโรงจักรไฟฟ้าพลังงานลมยังนำเสนอโปรแกรมวิเคราะห์ความเร็วลมโดยใช้แบบจำลองทางสถิติ

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ (Research Methodology)

- 1) ศึกษาทฤษฎีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละประเภท
- 2) ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับพลังงานชีวมวล พลังงานน้ำ และพลังงานลม

3) ศึกษาและรวบรวมข้อมูลตัวอย่างของโรงจักรไฟฟ้าพลังงานทางเลือก ประเภท VSPG ในที่นี้จะทำการศึกษาและรวบรวมข้อมูลโรงจักรไฟฟ้าชีวมวล โรงจักรไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก และโรงจักรไฟฟ้าลม

4) ทำการคิด วิเคราะห์ และเปรียบเทียบในเรื่องของรูปแบบเทคโนโลยีที่มีอยู่ที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ ระบบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุม และเรื่องของเศรษฐศาสตร์ รวมถึงข้อกำหนดของแต่ละโรงจักรด้วย

5) จัดทำโปรแกรมเพื่อนำข้อมูลความเร็วลมมาวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองทางสถิติ เพื่อนำไปสู่เรื่องการศึกษาในเรื่องของขนาดและที่ตั้งที่เหมาะสมในประเทศไทยของโรงจักรไฟฟ้าพลังงานลมต่อไป โดยใช้การเขียนโปรแกรม Visual Basic 6.0

1.5 แผนการดำเนินโครงการ (Project Plan)

	มี.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1.ศึกษาข้อมูลเบื้องต้น	←→									
2.วิเคราะห์เปรียบเทียบ พร้อมทั้งสรุปผล			←→							
3.จัดทำโปรแกรมเพื่อนำข้อมูลความเร็วลมมาวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองทางสถิติ โดยใช้การเขียนโปรแกรม Visual Basic 6.0						←→				
4. จัดทำรูปเล่มปริญาานิพนธ์									←→	

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ได้ความรู้เกี่ยวกับพลังงานทางเลือกในรูปแบบของพลังงานลม พลังงานน้ำขนาดเล็ก และพลังงานชีวมวล ซึ่งประเทศไทยในอนาคตมีโอกาสที่จะนำพลังงานในรูปแบบดังกล่าวมาใช้จริง

2. สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในพื้นที่ๆ กำลังการผลิตไฟฟ้าไม่เพียงพอต่อความต้องการหรือช่วยผลิตกำลังไฟฟ้าในช่วงที่มีความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงได้

3. สามารถนำความรู้จากการศึกษาเกี่ยวกับตัวต้นกำลัง เครื่องกำเนิดไฟฟ้า และระบบควบคุมไปวิเคราะห์และเลือกใช้ให้เหมาะสมกับการออกแบบโรงไฟฟ้าพลังงานทางเลือกทั้ง 3 ประเภท

4. สามารถออกแบบโปรแกรมที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ศักยภาพความเร็วลม เพื่อการผลิตไฟฟ้าภายในประเทศได้

1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญานินทร์

ลักษณะการนำเสนอต่อไปภายในปฏิญานินทร์

บทที่ 3 การออกแบบการทดลอง เพื่อการศึกษา วิเคราะห์และเปรียบเทียบโรงจักรไฟฟ้าพลังงานทางเลือกแต่ละประเภท ในแง่ของเรื่อง ตัวต้นกำลังขับ (Prime mover), เครื่องกำเนิดไฟฟ้า(Generator), การควบคุม(Control system) และ ด้านเศรษฐศาสตร์(Economic)

บทที่ 4 สรุปผลแนวทางการเลือกใช้เทคโนโลยี

บทที่ 5 โปรแกรมวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานลมโดยใช้แบบจำลองทางสถิติ

ภาคผนวก

บรรณานุกรม

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ส่วนนำ

ในบทนี้จะนำเสนอทฤษฎีเกี่ยวกับความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเทคโนโลยีการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าประเภท VSPP ที่ทำการศึกษา อันได้แก่ โรงจักรไฟฟ้าพลังงานลม โรงจักรไฟฟ้าชีวมวล และโรงจักรไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก

2.2 ทฤษฎีที่ 1 : รูปแบบเทคโนโลยีของโรงจักรไฟฟ้าพลังงานลม

ประเภทของกังหันลม

2.2.1 กังหันลมที่มีการนำมาใช้ในปัจจุบันสามารถแบ่งตามลักษณะของความเร็วลมที่สามารถทำให้โรเตอร์ทำงานได้ดังนี้

ก. กังหันลมแบบฟิกซ์สปีด (Fixed-speed wind turbine) เป็นกังหันลมที่มีการกำหนดหรือจำกัดความเร็วของกังหันลมที่โรเตอร์ไว้ โดยความเร็วที่ถูกจำกัดนั้นจะขึ้นอยู่กับความถี่จาก Grid ที่มีการเชื่อมต่อกับกังหันลม และการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำภายในกังหันลม ซึ่งจะถูกต้องโดยตรงเข้าสู่ Grid ผ่านซอฟต์แวร์สตาร์ทเตอร์ (Soft-starter) และคาปาซิเตอร์แบงก์ (Capacitor bank) เพื่อลดกระแสพุ่งเข้า (Inrush current) จากการเริ่มทำงานของกังหันลม และชดเชยกำลังจินตภาพ (Reactive power) โดยออกแบบให้มีประสิทธิภาพสูงสุดที่ความเร็วโรเตอร์ค่าๆหนึ่งเท่านั้น ส่วนการเพิ่มกำลังการผลิตโดยการทำงานที่ความเร็วลมหลายๆค่า่นั้นสามารถทำได้โดยการผันขดลวด 2 ชุด เมื่อความเร็วลมมีค่าต่ำๆจะใช้ขั้วแม่เหล็กประมาณ 8 ขั้ว และความเร็วลมที่มีค่าสูงๆจะใช้ขั้วแม่เหล็กประมาณ 4-6 ขั้ว

เนื่องจากการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมแบบฟิกซ์สปีด เมื่อความเร็วมีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลต่อกำลังการผลิตและส่งผลให้เกิดความแปรปรวนของแรงดันขึ้นทันทีซึ่งทำให้เกิดความสูญเสียในสายส่งเพิ่มมากขึ้นอีกด้วย

ข. กังหันลมแบบแวลริเอเบิลสปีด (Variable-speed wind turbine) ได้รับการออกแบบทางพลศาสตร์ให้ทำงานที่ความเร็วลมหลายระดับอย่างต่อเนื่อง โดยการปรับค่า ω , เมื่อเปรียบเทียบกับกังหันลมแบบฟิกซ์สปีด กับกังหันลมแบบแวลริเอเบิลสปีดมีความอิสระในการทำงานมากกว่าและมีกำลังผลิตมากกว่าที่ความเร็วลมเท่ากัน ทางด้านระบบไฟฟ้าจะมีความซับซ้อนมากกว่า เพราะมีการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังเข้ามาเป็นส่วนประกอบ

2.2.2 การแบ่งประเภทของกังหันลมตามการควบคุมกำลัง (Power control)

ก. การควบคุมแบบสทอล (Stall control (Passive control)) โดยการควบคุมแบบนี้ใบพัดของกังหันลมจะติดอยู่กับตัวเพลลา ไม่สามารถหมุนหรือปรับองศาของใบพัดได้แต่มีการเปลี่ยนแปลงกำลังการผลิตน้อยกว่าการควบคุมแบบพิทช์ ถึงกระนั้นก็มีประสิทธิภาพต่ำที่ความเร็วลมต่ำๆและไม่สนับสนุนการเริ่มทำงานที่ความเร็วลมต่ำ

ข. การควบคุมแบบพิทช์ (Pitch control (Active control)) โดยการควบคุมแบบนี้ใบพัดสามารถหมุนหรือปรับองศาได้ ข้อดีก็คือสามารถควบคุมกำลังการผลิตได้ดีนั้นก็คือมีประสิทธิภาพสูงและสนับสนุนการเริ่มหรือหยุดกลางคัน ข้อด้อยก็คือมีความซับซ้อนในการสร้างและมีความแปรปรวนของกำลังการผลิตในระดับสูง

ค. การควบคุมแบบแอคทีฟสทอล (Active stall control) โดยการควบคุมแบบนี้เป็นการรวมข้อดีของการควบคุมทั้ง 2 แบบเบื้องต้นเข้าไว้ด้วยกัน นั่นก็คือเมื่อมีความเร็วลมต่ำๆจะใช้การควบคุมแบบพิทช์ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด และเมื่อความเร็วลมสูงๆจะเปลี่ยนมาใช้ในการควบคุมแบบสทอลแทน ซึ่งทำให้การควบคุมแบบแอคทีฟสทอลนั้นให้กำลังผลิตที่สม่ำเสมอและมีประสิทธิภาพสูงนั่นเอง แต่มีข้อเสียคือโครงสร้างซับซ้อนและราคาแพง

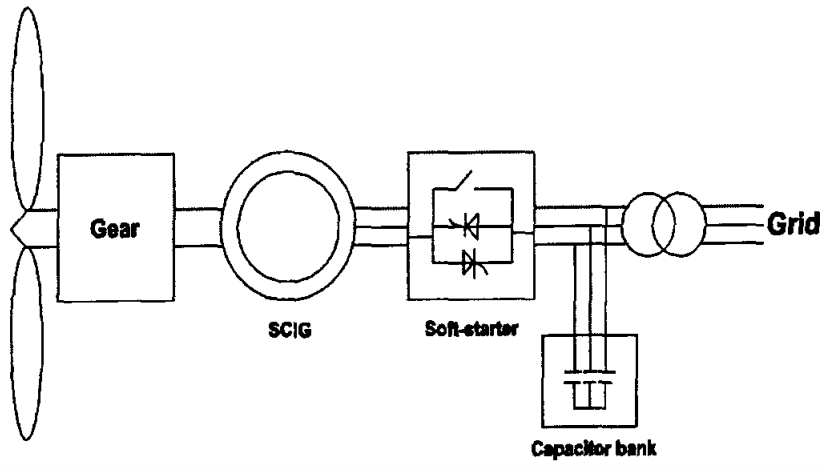
2.2.3 การแบ่งประเภทตามชนิดของวงจรและส่วนประกอบภายในของกังหันลม

ก. แบบ A โดยกังหันลมชนิดนี้จะใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก (Squirrel cage induction generator: SCIG) และต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำตรงเข้าสู่ Grid ผ่านหม้อแปลง ข้อเสียก็คือจะต้องมีการชดเชยกำลังจินตภาพให้ Grid นั้นหมายถึงว่าจำเป็นที่จะต้องมีการชดเชยด้วยตัวเก็บประจุ และชอพท์สตาร์ทเตอร์ เมื่อเราพิจารณาความเร็วลมที่ไม่คงที่ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดความแปรปรวนต่อกำลังการผลิตโดยตรง

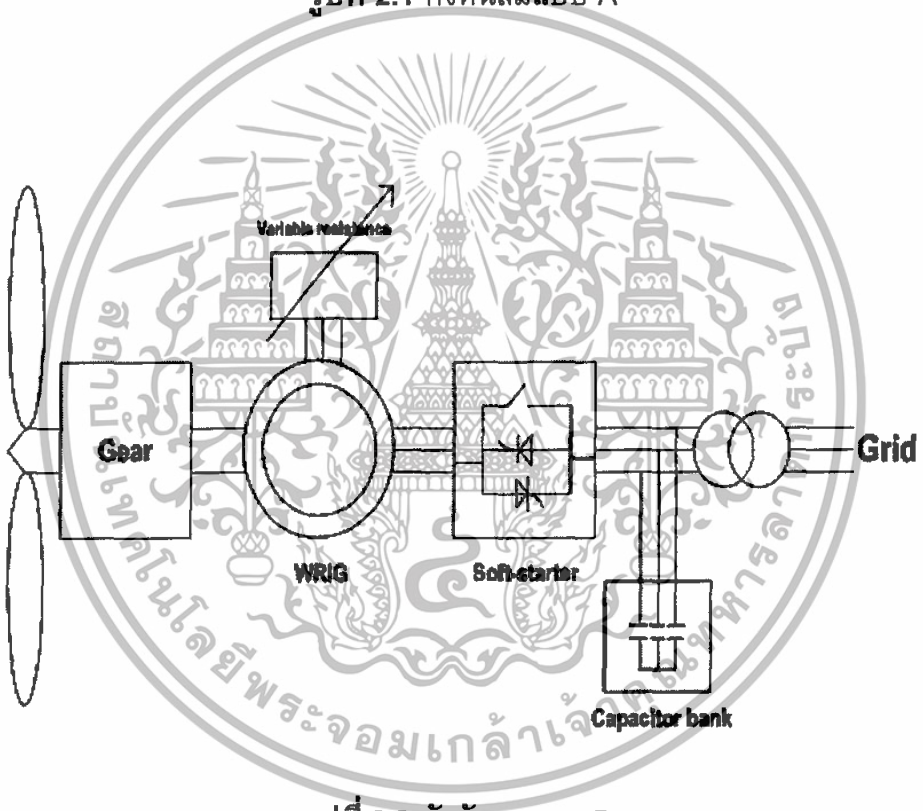
ข. แบบ B ใช้การทำงานแบบออปติสลิป (Optislip: Variable generator rotor resistance) โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ใช้จะเป็นแบบโรเตอร์ชนิดขดลวดพัน (Wound rotor induction generator : WRIG) ซึ่งมีการเชื่อมต่อโดยตรงเข้าสู่ Grid และยังใช้ตัวเก็บประจุรวมทั้งชอพท์สตาร์ทเตอร์อยู่ ส่วนแนวคิดของกังหันลมแบบ B นี้จะใช้ออปติสลิปเป็นตัวควบคุม โดยเมื่อค่าความต้านทานของโรเตอร์เปลี่ยนแปลงจะสามารถควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่ของโรเตอร์ได้ ซึ่งมีความเร็วมากกว่าความเร็วซิงโครนัส 0 ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ แต่มีข้อเสียคือมีการสูญเสียจากความร้อนที่เกิดขึ้นที่ออปติสลิป

ค. แบบ C (Doubly fed) จะใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดขดลวดพันโดยมีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่สามารถควบคุมความถี่เป็นตัวชดเชยกำลังจินตภาพและทำหน้าที่เป็นชอพท์สตาร์ทเตอร์ แต่ก็ยังมีความจำเป็นที่จะต้องใช้สลิปริง

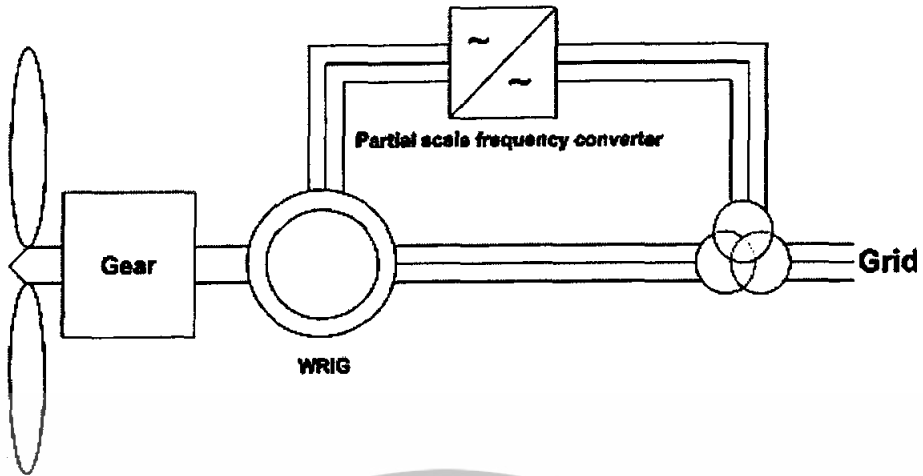
ง. แบบ D จะมีความคล้ายคลึงกับแบบ C แต่จะใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสชนิดขดลวดพันแทนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดขดลวดพัน และไม่มีเกียร์บ็อกซ์



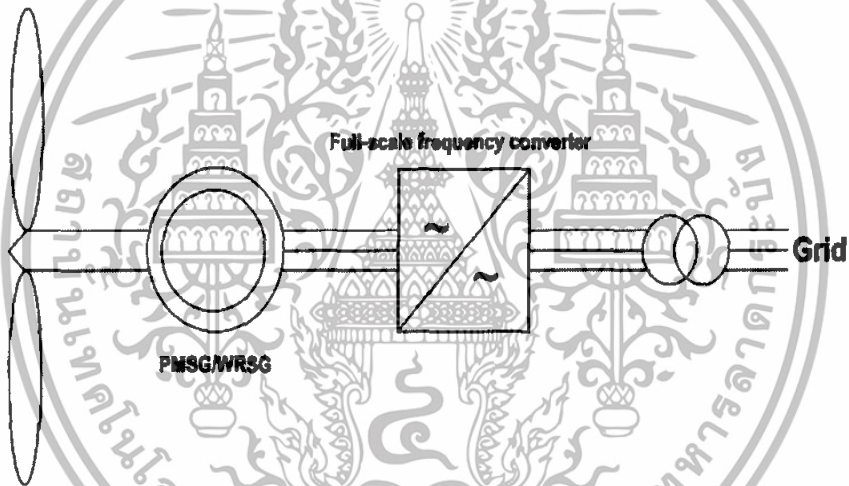
รูปที่ 2.1 กังหันลมแบบ A



รูปที่ 2.2 กังหันลมแบบ B



รูปที่ 2.3 กังหันลมแบบ C



รูปที่ 2.4 กังหันลมแบบ D

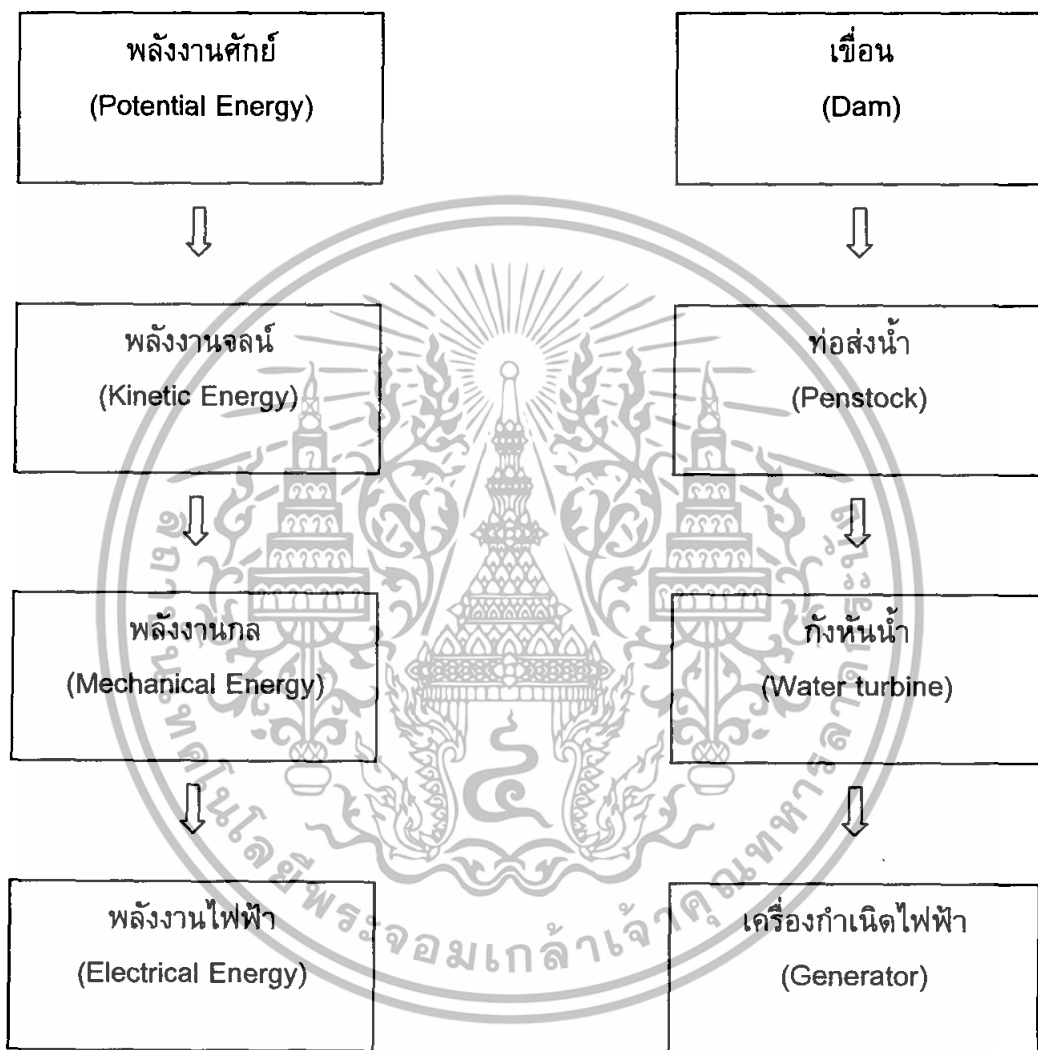
ตารางที่ 2.1 ประเภทของกังหันที่มีการผลิตหรือนำมาใช้ในงาน [2]

Speed control		Power control		
		Stall	Pitch	Active stall
Fixed speed	Type A	Type A	Type A	Type A
Variable speed	Type B	Type B	Type B	Type B
	Type C	Type C	Type C	Type C
	Type D	Type D	Type D	Type D

หมายเหตุ อักษรตัวหนาหมายถึงยังไม่มีการผลิตหรือนำมาใช้ในปัจจุบัน

2.3 ทฤษฎีที่ 2 : รูปแบบเทคโนโลยีของโรงจักรไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก

หลักการของการผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำ คือ การเปลี่ยนแปลงสภาพของน้ำจากสถานะพลังงานศักย์เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยอาศัยความแตกต่างของระดับน้ำเหนือเขื่อนและท้ายเขื่อนมาใช้หมุนกังหันน้ำ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดขึ้นได้ตามลำดับดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงรูปพลังงานของพลังงานน้ำ

สำหรับการหาค่ากำลังการผลิตสามารถหาได้จาก

$$P = 9.8 Qwh\eta \quad (2.1)$$

- เมื่อ P = กำลังผลิต หน่วยเป็นกิโลวัตต์
 Q = ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านกังหันน้ำ (discharge) หน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที
 w = ความหนาแน่นของน้ำ ซึ่งเท่ากับ 1000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
 h = ความสูงของระดับน้ำ หน่วยเป็นเมตร
 η = ประสิทธิภาพของกังหันน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

จากสูตร จะเห็นได้ว่ากำลังผลิตไฟฟ้านั้นขึ้นอยู่กับความสูงของระดับน้ำกับปริมาณน้ำที่ไหลผ่านกังหัน ปัจจุบันการพัฒนาพื้นที่แหล่งน้ำมักจะมุ่งประโยชน์หลายด้าน มีการสร้างเขื่อนเพื่อเอนกประสงค์ เช่น เพื่อการป้องกันอุทกภัย การชลประทาน การผลิตน้ำประปาสำหรับใช้ทั่วไปและงานอุตสาหกรรม รวมทั้งการผลิตไฟฟ้าด้วย สำหรับโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กนั้นส่วนใหญ่มักตั้งอยู่ใกล้ลำน้ำหรือในลำน้ำโดยตรง โดยไม่มีการสร้างอ่างกักเก็บน้ำ ดังนั้นการมีข้อมูลปริมาณน้ำฝนในช่วงเวลาหลายสิบปีของท้องที่โครงการ และความรู้ความเข้าใจในลักษณะการไหลทั้งปีของลำน้ำที่เกี่ยวข้องเป็นเรื่องจำเป็นสำหรับการกำหนดขนาดของเครื่องกังหันน้ำสำหรับผลิตไฟฟ้า

2.3.1 ชนิดของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบ่งตามปริมาณน้ำ

1) แบบไม่มีอ่างเก็บน้ำ (Run of River) โรงไฟฟ้าชนิดนี้ใช้ประโยชน์ของน้ำที่ไหลตาม ลำห้วย ลำธาร สร้างเขื่อนเล็กๆหรือฝายขวางลำน้ำ บังคับให้น้ำไหลไปตามท่อ หรือทำรางส่งน้ำ ใช้ความดันของน้ำจากที่สูงหมุนกังหันซึ่งต่อแกนกับเครื่องกำเนิด

2) แบบมีอ่างเก็บน้ำ (Storage Regulation Development) เป็นโรงไฟฟ้าขนาดกลางหรือขนาดใหญ่ และพัฒนาให้เป็นแบบเอนกประสงค์ โรงไฟฟ้าชนิดนี้ใช้เป็นหลักในการผลิตไฟฟ้า น้ำจะถูกเก็บไว้ในอ่างเก็บน้ำเหนือเขื่อนให้มีปริมาณเพียงพอที่จะผลิตไฟฟ้าได้อย่างสม่ำเสมอ

3) แบบสูบน้ำกลับ (Pump Storage Plant) เป็นโรงไฟฟ้าที่มีอ่างเก็บน้ำสองส่วนคืออ่างเก็บน้ำบนและล่าง ขณะที่ผลิตไฟฟ้าในช่วงที่มีความต้องการไฟฟ้าสูงก็จะปล่อยน้ำให้หมุนกังหันและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และเมื่อใดที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าต่ำหรือลดลง ก็จะใช้กำลังงานไฟฟ้าที่เหลือจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับปั๊มขนาดใหญ่เพื่อสูบน้ำจากอ่างล่างขึ้นไปเก็บไว้ที่ด้านบน เพื่อใช้ประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดต่อไป

2.3.2 ส่วนประกอบของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ

โครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กส่วนใหญ่จะเป็นแบบ Run of River ซึ่งประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญดังรูปที่ 2.6

ฝายน้ำล้น (Weir) คือโครงสร้างที่วางขวางกั้นลำน้ำไว้สำหรับยกระดับน้ำให้สูงขึ้น และผันน้ำส่วนหนึ่งเข้าท่อผันน้ำในอัตราที่ไหลที่ได้คำนวณไว้

อาคารรับน้ำ (Intake) คือโครงสร้างที่รับน้ำจากแม่น้ำเข้าสู่ท่อผันน้ำ

อาคารดักและระบายทราย (Desander) เป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ทำหน้าที่ลดความเร็วการไหลของน้ำให้อยู่ในระดับที่ทำให้ทรายขนาดที่ต้องการตกตะกอน

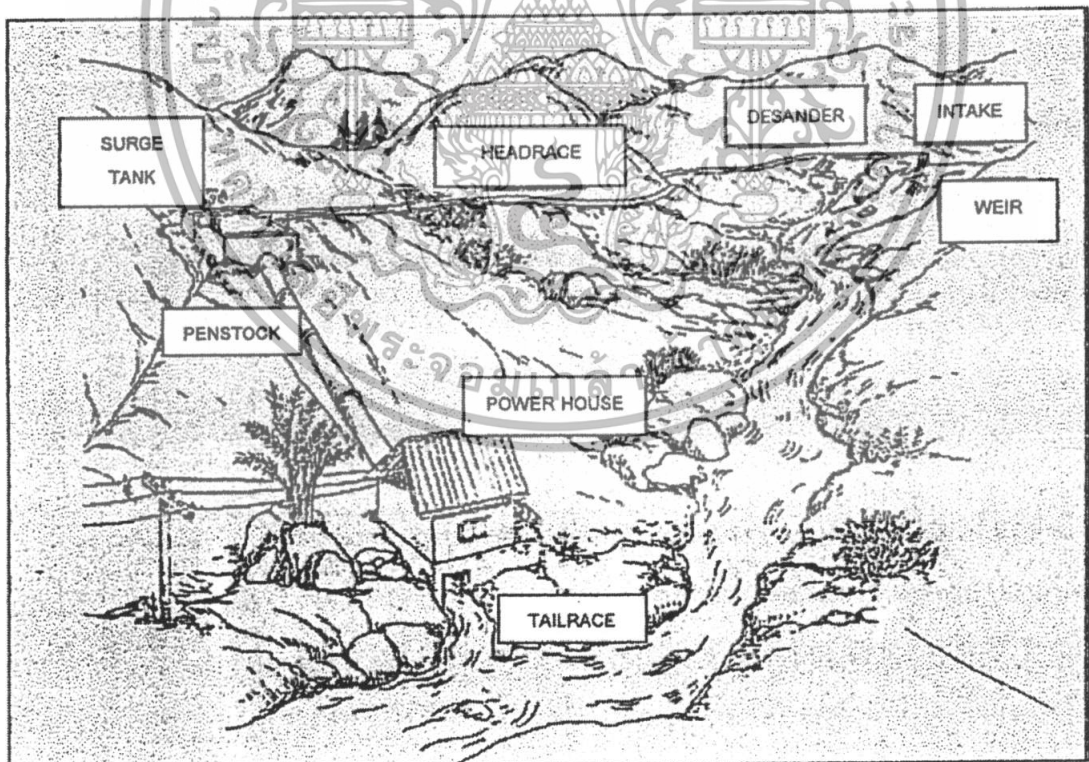
ท่อผันน้ำ (Headrace) เป็นท่อคอนกรีตเสริมเหล็กหรือคลองหรืออุโมงค์ ทำหน้าที่ลำเลียงน้ำจากทางน้ำเข้าไปยังถึงลดแรงดัน

ถังลดแรงดัน (Surge Tank) คือถังที่ทำหน้าที่ลดแรงดันน้ำก่อนที่จะเข้าสู่ท่อแรงดัน

ท่อแรงดัน (Penstock) เป็นท่อเหล็กที่ทำหน้าที่ลำเลียงน้ำจากถังลดแรงดันไปยังกังหัน

โรงไฟฟ้า (Powerhouse) เป็นอาคารซึ่งภายในติดตั้งกังหันน้ำ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า และอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ

ทางน้ำออก (Tailrace) คือคลองส่งน้ำสำหรับส่งน้ำที่ใช้ในการหมุนกังหันกลับสู่ลำน้ำเดิม



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะและส่วนประกอบของโครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก

2.3.3 เทคโนโลยีกังหันน้ำ

กังหันน้ำสำหรับโครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก เป็นส่วนประกอบที่มีบทบาทสำคัญมากในการพัฒนาโครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก กังหันน้ำสำหรับโครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มหลักๆ คือ กังหันแบบกระแทก (Impulse Turbine) และกังหันแบบแรงสะท้อน (Reaction Turbine)

1) กังหันแบบแรงสะท้อน (Reaction Turbine)

เป็นกังหันที่หมุนโดยใช้แรงดันของน้ำที่เกิดจากความต่างระดับของน้ำด้านบนและด้านล่างของกังหันกระทำต่อใบพัด ระดับด้านท้ายน้ำจะสูงกว่าระดับบนของปลายท่อปล่อยน้ำออกเสมอ ประเภทของกังหันแบบแรงสะท้อนโดยทั่วไปมี 3 ประเภท

- Radial Turbines
- Radial – Axial Turbines เช่น กังหันฟรานซิส (Francis Turbines)
- Axial Turbines เช่น กังหันพรอปเพลเลอร์ (Propeller Turbines) และ

กังหันคาปลาน (Kaplan Turbines)

2) กังหันแบบกระแทก (Impulse Turbine)

เป็นกังหันที่หมุนโดยอาศัยแรงจลน์ของน้ำจากท่อส่งน้ำที่รับน้ำจากที่สูงหรือหัวน้ำสูง ไหลลงมาตามท่อที่ลดขนาดลงมายังหัวฉีดกระแทกกังหันให้หมุน และต่อแกนกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ประเภทของกังหันแบบแรงกระแทกมี 4 ประเภท ได้แก่

- กังหันเพลตัน (Pelton Turbines)
- กังหันแอกเซียล (The Axial Turbines)
- กังหันเทอร์โก (Turgo Turbines)
- กังหันครอสโฟลว์ (Cross Flow Turbines)

2.4 ทฤษฎีที่ 3 : รูปแบบเทคโนโลยีของโรงจักรไฟฟ้าชีวมวล

กระบวนการที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงชีวมวลให้เป็นพลังงานโดยทั่วไปมักอาศัยวิธีทางเคมีความร้อน (Thermo chemical) สามารถจำแนกได้ 3 ประเภทคือ การเผาไหม้โดยตรง (Direct Combustion) การผลิตก๊าซ (Gasification) และการผลิตร่วม (Cogeneration) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.4.1 การเผาไหม้โดยตรง (Direct Combustion)

การเผาไหม้เป็นวิธีที่ใช้กันมากในการนำเชื้อเพลิงชีวมวลมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยการเผาให้ความร้อนเพื่อเอาก๊าซร้อนไปใช้ในกระบวนการผลิต เช่น การอบแห้ง หรือไปผลิตไอน้ำร้อนที่มีความดันสูงเพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้า

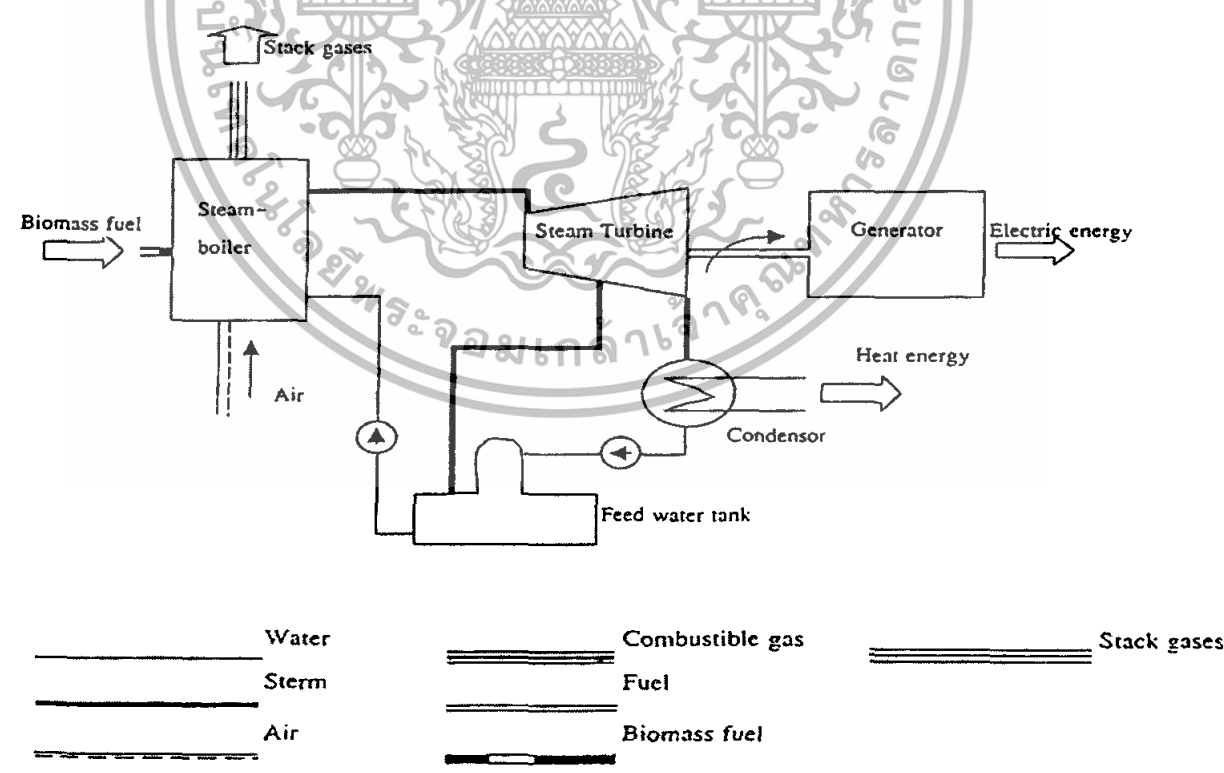
การใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวโดยใช้เทคโนโลยีการเผาไหม้โดยตรงมีขั้นตอนดังนี้ (รูปที่ 2.7)

- เชื้อเพลิงชีวมวลจะถูกเผาไหม้โดยตรงภายในเตาเผา (Steam Boiler) ความร้อนที่ได้ออกมาจะถูกนำไปผลิตไอน้ำที่มีอุณหภูมิและความดันสูง
- ไอน้ำที่ผลิตได้จะนำไปขับเคลื่อนกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) เพื่อผลิตไฟฟ้า
- ไอน้ำที่ออกจากกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) จะเข้าสู่คอนเดนเซอร์ (Condenser) เพื่อถูกทำให้เย็นลงและกลั่นตัวเป็นน้ำ
- จากนั้นจะปั๊มน้ำป้อนกลับไปสู่หม้อไอน้ำ โดยที่น้ำป้อนจะถูกอุ่นก่อนด้วยไอน้ำที่ดึงมาจากกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) ณ ที่ความดันช่วงกลาง

ชนิดของเตาเผานั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของชีวมวลที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง โดยชีวมวลที่เป็นชิ้นเล็กหรือเป็นเม็ด มีความเหมาะสมมากกับเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบดหรือไซโคลน ในขณะที่เตาเผาแบบสโตคเกอร์นั้นสามารถใช้ได้กับเชื้อเพลิงหลายชนิด/ขนาด แต่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงภาระต่ำ

หม้อไอน้ำที่ใช้ในโรงไฟฟ้าชีวมวลมี 2 ประเภท คือ หม้อไอน้ำประเภทท่อไฟ (Fire Tube Boiler) มีน้ำหนักเบา ราคาถูก มีขนาดกะทัดรัด แต่ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าที่ความดันสูงมากๆได้ และหม้อไอน้ำประเภทท่อน้ำ (Water Tube Boiler) สามารถผลิตไอน้ำที่ความดันสูงได้

กังหันไอน้ำที่ใช้ขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงชีวมวล คือ กังหันไอน้ำชนิด Fully Condensing



รูปที่ 2.7 แผนภาพโรงไฟฟ้าที่ใช้ความร้อนจากกระบวนการเผาไหม้โดยตรง

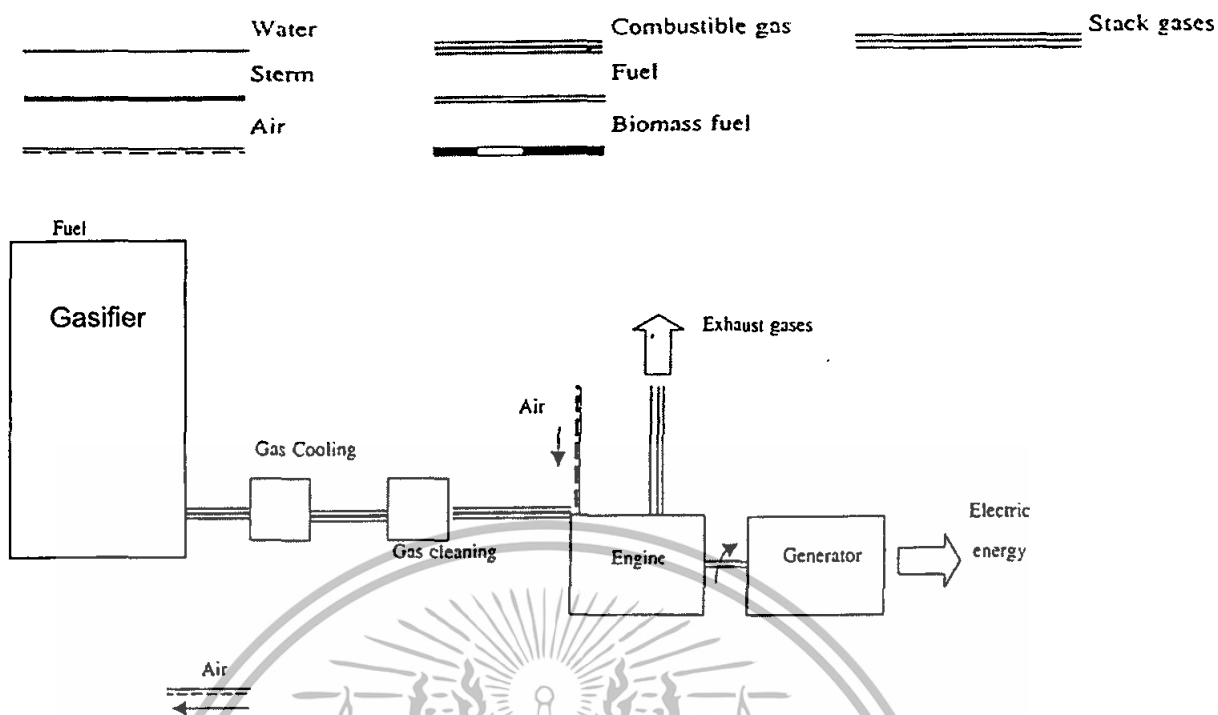
จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของโรงไฟฟ้าชีวมวลพบว่ามีความคุ้มค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงถ่านหิน นอกจากนี้เชื้อเพลิงชีวมวลยังถูกจำกัดเชื้อเพลิง เนื่องจากแหล่งผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอยู่กันอย่างกระจัดกระจาย จึงเสียค่าขนส่งค่อนข้างสูง ดังนั้น เพื่อให้การผลิตไฟฟ้าให้คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ผู้ผลิตจึงจำเป็นต้องลดต้นทุนอื่นๆ เช่น หม้อไอน้ำที่มีประสิทธิภาพต่ำลง จึงเป็นผลให้โรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงชีวมวลมีขนาดเล็กและมีประสิทธิภาพต่ำกว่าโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงถ่านหิน โรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงชีวมวลจึงควรมีกำลังผลิตไม่ควรเกิน 100 เมกะวัตต์ไฟฟ้าเพื่อความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

2.4.2 กระบวนการผลิตก๊าซชีวมวลโดยใช้อากาศ (Air Gasification)

กระบวนการผลิตก๊าซชีวมวลเป็นการเปลี่ยนเชื้อเพลิงชีวมวลซึ่งเป็นเชื้อเพลิงแข็งให้เป็นเชื้อเพลิงก๊าซซึ่งเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งในที่ที่มีอากาศจำกัด โดยความร้อนที่เกิดขึ้นนี้จะไปเร่งปฏิกิริยาแบบต่อเนื่องกลายเป็นก๊าซชีวมวล

การใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวโดยใช้เทคโนโลยีการผลิตก๊าซมีขั้นตอนดังนี้ (รูปที่ 2.8)

- เชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าสู่เตาผลิตก๊าซ (Gasifier) ซึ่งภายในเตาเผาเกิดกระบวนการไพโรไลซิสและการเผาไหม้บางส่วนขึ้นก๊าซบางส่วนที่ได้จะมีความร้อนสูงมาก และมีฝุ่นละอองและน้ำมันดินปนเปื้อนออกมาด้วยเป็นจำนวนมาก ก่อให้เกิดปัญหาต่อระบบการทำงานของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้างั้นจึงจำเป็นต้องติดตั้งเครื่องดักฝุ่นเพื่อทำความสะอาดเชื้อเพลิงก่อนนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตไฟฟ้า
- ก๊าซชีวมวลสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ทั้งสำหรับกังหันก๊าซ (Gas Turbine) และเครื่องยนต์สำหรับผลิตไฟฟ้า ได้แก่ เครื่องยนต์ชนิด Spark Ignition และเครื่องยนต์ชนิด Compression Ignition



รูปที่ 2.8 แผนภาพโรงไฟฟ้าที่ใช้ความร้อนจากระบวนการผลิตก๊าซ

ปัญหาที่มักเกิดขึ้นเนื่องจากการนำก๊าซชีววมวลมาใช้ผลิตไฟฟ้าที่พบมาก คือ

- ปริมาณฝุ่นละอองและน้ำมันดินที่ปนเปื้อนมากับก๊าซชีววมวลที่มีเป็นจำนวนมาก ก่อให้เกิดปัญหาต่อการเดินเครื่องยนต์ที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า
- การเกิดการจับตัวของซีโลหะทำให้ต้องหยุดเครื่องบ่อยๆเพื่อจัดซีโลหะที่จับตัวกันออกจากเตา
- การเสื่อมลงอย่างรวดเร็วของเตาผลิตก๊าซ เครื่องกรอง และเครื่องลดอุณหภูมิของก๊าซชีววมวลอันเนื่องมาจากการกัดกร่อน หรือ Thermal Stresses
- ความเชื่อถือไม่ได้ของอุปกรณ์เสริม เช่น วาล์ว พัดลม และระบบป้อนเชื้อเพลิง

ปัญหาสองข้อแรกเกิดจากคุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่ใช้ แก้ไขโดยการเพิ่มระบบความสะอาดก๊าซผลิตภัณท์ที่มีประสิทธิภาพ ส่วนปัญหาสองข้อหลังนั้นเกิดจากข้อบกพร่องของการออกแบบและเลือกใช้อุปกรณ์

เนื่องจากประเทศไทยสามารถผลิตข้าวเป็นจำนวนมาก จึงมีแกลบจากการสีข้าวเหลืออยู่มากมายแกลบจึงเหมาะที่จะใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตก๊าซชีววมวล ซึ่งส่วนใหญ่

ประเทศไทยจะใช้ระบบเตาผลิตก๊าซเป็นแบบอากาศไหลลง กับเครื่องยนต์ดีเซลเพื่อใช้ผลิตไฟฟ้าในโรงสีนั้นๆ

2.4.3 การผลิตพลังงานร่วม (Cogeneration)

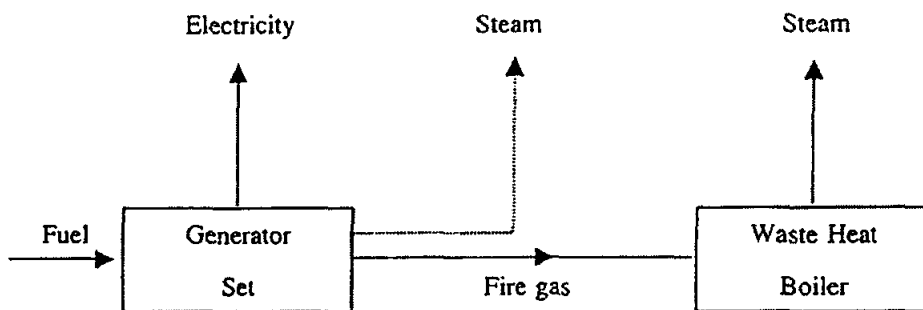
ระบบผลิตไฟฟ้าโดยใช้ชีวมวลทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. ระบบแยกผลิตพลังงาน ซึ่งชีวมวลสามารถเปลี่ยนแปลงให้เป็นพลังงานความร้อนเพื่อใช้ขับเคลื่อนสำหรับผลิตไฟฟ้าได้ โดยอาจอาศัยเทคโนโลยีการเผาไหม้โดยตรง (Direct Combustion) ผลิตความร้อนในรูปของไอน้ำที่ความดันและอุณหภูมิสูงไปขับเคลื่อนไอน้ำสำหรับผลิตไฟฟ้า หรือเทคโนโลยีการผลิตก๊าซ (Gasification) เพื่อผลิตพลังงานความร้อนในรูปของก๊าซร้อนไปขับเคลื่อนกังหันก๊าซสำหรับผลิตไฟฟ้า

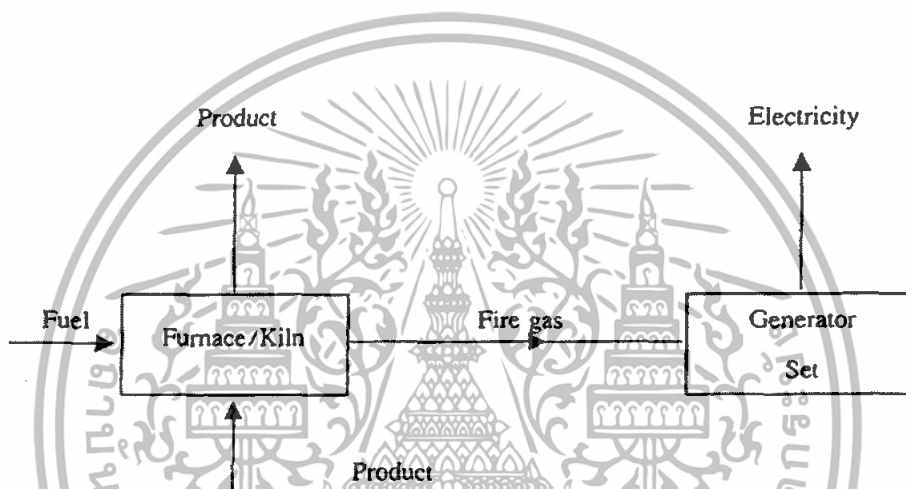
2. ระบบผลิตพลังงานร่วม โดยระบบดังกล่าวสามารถผลิตได้ทั้งพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนจากแหล่งเชื้อเพลิง ระบบผลิตพลังงานร่วมนี้ยังสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบตามลำดับความสำคัญของพลังงานที่สามารถผลิตได้ คือ แบบผลิตกำลังไฟฟ้านำหน้า (Topping Cycle) และแบบผลิตพลังงานความร้อนตามหลัง (Bottoming Cycle)

- การผลิตพลังงานร่วมแบบผลิตกำลังไฟฟ้านำหน้า มีลักษณะทั่วไปดังแสดงในรูปที่ 2.9 ซึ่งเชื้อเพลิงจะถูกใช้ในการผลิตพลังงานกลหรือไฟฟ้าก่อน ด้วยกังหันแก๊สหรือกังหันไอน้ำ จากนั้นจึงนำความร้อนที่ถูกลบทิ้งจากการผลิตพลังงานกลหรือไฟฟ้าไปใช้ในกระบวนการผลิต ถ้าเป็นกังหันแก๊ส ไอเสียจากชุดกังหันแก๊สจะถูกนำไปใช้ผลิตไอน้ำด้วย Waste Heat Boiler เพื่อส่งไปใช้ในกระบวนการผลิต แต่ถ้าเป็นกังหันไอน้ำ ไอน้ำที่ออกจากกังหันจะถูกควบคุมให้มีอุณหภูมิพอเหมาะสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตโดยตรง ซึ่งโดยทั่วไปมักจะนำไปใช้ในขั้นตอนการอบแห้ง การอุ่น หรือการหล่อเย็น เนื่องจากความร้อนที่ได้จากกระบวนการผลิตไฟฟ้ามักจะมีควมดันหรืออุณหภูมิไม่สูงมากนัก

- การผลิตพลังงานร่วมแบบผลิตกำลังไฟฟ้าตามหลัง ตามแผนภาพในรูปที่ 2.10 เชื้อเพลิงจะถูกเผาไหม้เพื่อให้ความร้อนแก่กระบวนการผลิตก่อน เช่น เตาเผาปูนซีเมนต์ เตาหลอมแก้ว เตาหลอมเหล็ก จากนั้นจึงนำแก๊สร้อนที่ปล่อยออกจากเตาเผาซึ่งยังมีอุณหภูมิค่อนข้างสูงไปใช้ในการผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันแก๊สหรือกังหันไอน้ำต่อไป



รูปที่ 2.9 แผนภาพการผลิตพลังงานร่วมแบบผลิตไฟฟ้าหน้า



รูปที่ 2.10 แผนภาพการผลิตพลังงานร่วมแบบผลิตไฟฟ้าตามหลัง

2.5 ทฤษฎีที่ 4 การวิเคราะห์ความเร็วมเพื่อติดตั้งกังหันลม

2.5.1 Weibull distribution

การวิเคราะห์ความเร็วมโดยใช้วิธีการ Weibull Distribution นี้เป็นวิธีการที่ได้รับการยอมรับและใช้กันอย่างกว้างขวางทั่วไปการวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานลม ซึ่งวิธีการนี้จะแยกออกเป็น 2 ลักษณะฟังก์ชัน คือ

- 1) The probability density function
- 2) The cumulative distribution function

ซึ่ง The probability density function ($f(V)$) นั้นจะเป็นตัวบ่งชี้แสดงความน่าจะเป็นที่จะเกิดความเร็วมที่ค่าความเร็วมที่กำหนดมีสมการ คือ

$$f(V) = \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c} \right)^{k-1} e^{-\left(\frac{V}{c} \right)^k} \quad (2.2)$$

เมื่อ

k = Weibull shape factor

c = scale factor

และ The cumulative distribution function ($F(V)$) นั้นจะเป็นตัวบ่งชี้แสดงความน่าจะเป็นที่ความเร็วลมจะเท่ากับหรือน้อยกว่าความเร็วลมที่กำหนด ดังนั้น the cumulative distribution function ($F(V)$) จึงเท่ากับผลการอินทิกรัลของ the probability density function ($f(V)$) ซึ่งมีสมการ คือ

$$F(V) = \int_0^{\infty} f(V) dV = 1 - e^{-\left(\frac{V}{c}\right)^k} \quad (2.3)$$

โดยที่การหาค่าความเร็วลมเฉลี่ยโดยวิธีการ Weibull distribution มีสมการ คือ

$$Vm = \int_0^{\infty} V f(V) dV \quad (2.4)$$

แทน $f(V)$ จากสมการที่ (2.2) ลงในสมการที่ (2.4) จะได้

$$Vm = \int_0^{\infty} V \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{V}{c}\right)^k} dV \quad (2.5)$$

จากสมการที่ (2.5) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$Vm = k \int_0^{\infty} \left(\frac{V}{c}\right)^k e^{-\left(\frac{V}{c}\right)^k} dV \quad (2.6)$$

กำหนดให้

$$x = \left(\frac{V}{c}\right)^k, dV = \frac{c}{k} x^{\left(\frac{1}{k}-1\right)} dx \quad (2.7)$$

แทนค่า dV จากสมการ (2.7) ลงในสมการที่ (2.6) จะได้

$$Vm = c \int_0^{\infty} e^{-x} x^{\frac{1}{k}} dV \quad (2.8)$$

และจากแกรมมาฟังก์ชัน

$$\Gamma n = \int_0^{\infty} e^{-x} x^{n-1} dx \quad (2.9)$$

ดังนั้นจากสมการที่ (2.8) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$Vm = c\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad (2.10)$$

จากวิธีการ Weibull distribution นี้หาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วลมได้โดยใช้สมการ คือ

$$\sigma_v = (\mu'_2 - V_m^2)^{\frac{1}{2}} \quad (2.11)$$

ซึ่ง μ'_2 หาได้จาก

$$\mu'_2 = \int_0^{\infty} V^2 f(V) dV \quad (2.12)$$

แทนค่า $f(V)$ จากสมการที่ (2.2) และ x, dV ในสมการที่ (2.7) ลงในสมการที่ (2.12) จะได้

$$\mu'_2 = c^2 \int_0^{\infty} e^{-x} x^{\frac{2}{k}} dx \quad (2.13)$$

และจากเกรมมาฟังก์ชันในสมการที่ (2.11) เขียนใหม่ได้เป็น

$$\mu'_2 = c^2 \Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) \quad (2.14)$$

แทนค่า V_m จากสมการที่ (2.10) และ μ'_2 จากสมการที่ (2.14) ลงในสมการที่ (2.11) จะได้

$$\sigma_v = c \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{k}\right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.15)$$

The cumulative distribution function สามารถใช้ในการประมาณหาค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดความเร็วลมในช่วงที่กำหนด ยกตัวอย่างเช่นต้องการหาความน่าจะเป็นในช่วงความเร็วลม $V_1 - V_2$ สามารถหาได้จากสมการ

$$P(V_1 < V < V_2) = F(V_2) - F(V_1) \quad (2.16)$$

จากสมการที่ (2.3) สามารถเขียนสมการที่ (2.16) ได้เป็น

$$P(V_1 < V < V_2) = e^{-\left(\frac{V_1}{c}\right)^k} - e^{-\left(\frac{V_2}{c}\right)^k} \quad (2.17)$$

และสามารถใช้ The cumulative distribution function ในการหาค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดความเร็วลมมากกว่าค่าที่กำหนดโดยใช้สมการ คือ

$$P(V > V_x) = 1 - \left(1 - e^{-\left(\frac{V_x}{c}\right)^k}\right) = e^{-\left(\frac{V_x}{c}\right)^k} \quad (2.18)$$

ตัวอย่างที่ 1 : เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันลมตัวหนึ่งเริ่มต้นผลิตกำลังไฟฟ้า (Cut-in wind speed) ที่ความเร็วลม 4 m/s และหยุดทำการผลิตกำลังไฟฟ้าเมื่อความเร็วลมเกิน (Cut-out wind speed) 25 m/s ติดตั้งในพื้นที่ที่มีค่า Weibull shape factor (k) เท่ากับ 2.4 และค่า scale factor (c) เท่ากับ 9.8 m/s ให้หาว่า (A) ในหนึ่งวันเครื่องกำเนิดจะผลิตกำลังไฟฟ้าอยู่ที่ชั่วโมง (B) หาค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดความเร็วลมสูงกว่า 35 m/s

Solution: (A) จากสมการที่ (2.17) แทนค่าเข้าไปจะได้

$$P(V_1 < V < V_2) = e^{-\left(\frac{4}{9.8}\right)^{2.4}} - e^{-\left(\frac{25}{9.8}\right)^{2.4}} = 0.89$$

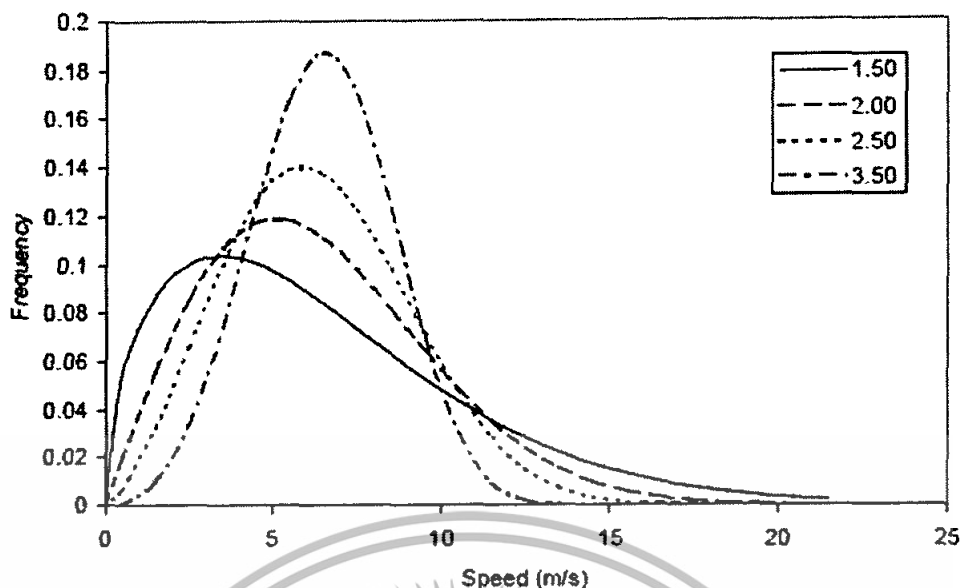
ดังนั้นในหนึ่งวันเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันลมจะผลิตกำลังไฟฟ้าเท่ากับ $(0.89 \times 24) = 21.36$ hours

(B) หาค่าความน่าจะเป็นที่ความเร็วลมจะสูงกว่า 35 m/s จากสมการที่ (2.18) ดังนี้

$$P(V > V_{35}) = e^{-\left(\frac{35}{9.8}\right)^{2.4}} = 0.00000001$$

ซึ่งจะเห็นได้ว่าโอกาสที่จะเกิดความเร็วลมสูงกว่า 35 m/s มีน้อยมาก (0.0000001 %)

จากการพิจารณาการกระจายความเร็วลมโดยใช้วิธีการ Weibull distribution ค่าพารามิเตอร์สำคัญที่ต้องการทราบก็คือค่า Weibull shape factor (k) และค่า scale factor (c) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์นี้จะส่งผลให้การกระจายความเร็วลมของพื้นที่นั้นที่เราสนใจเปลี่ยนแปลงไปด้วยดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การกระจายค่าความเร็วลมโดยวิธีการ Weibull distribution เมื่อความเร็วลมเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 6.5 m/s และค่า Weibull shape factor (k) เปลี่ยนแปลง

วิธีการหาค่า k และค่า c ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปก็จะมีอยู่หลายวิธีด้วยกันดังต่อไปนี้

1. Graphical method
2. Standard deviation method
3. Moment method
4. Maximum likelihood method
5. Energy pattern factor method

ซึ่งในที่นี้จะแสดงการหาค่า k และค่า c เฉพาะวิธี Graphical method เท่านั้นส่วนวิธีที่เหลือสามารถศึกษาได้จากอ้างอิงที่ [2] วิธีการ Graphical method นี้จะนำเอาสมการ cumulative distribution function มาพิจารณาในรูปแบบสมการเชิงเส้นในสเกลของฟังก์ชัน logarithm ดังต่อไปนี้

จากสมการ Cumulative distribution function (สมการที่ (2.3))

$$1 - F(V) = e^{-\left(\frac{V}{c}\right)^k} \quad (2.19)$$

Take the logarithm ทั้งสองข้างสองครั้งจะได้

$$\ln\{-\ln[1 - F(V)]\} = k \ln(V) - k \ln c \quad (2.20)$$

Plot กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(V_i)$ (แกน X) และ $\ln\{-\ln[1-F(V)]\}$ (แกน Y) เราจะได้กราฟที่เกือบเป็นเส้นตรงออกมาแล้วทำการ fitting curve ให้ได้สมการเส้นตรงออกมาอยู่ในรูป $y = mx + b$ เมื่อพิจารณาสมการที่ (2.20) ค่า k ก็คือค่าความชัน (Slope) และ $-k \ln c$ ก็คือค่าจุดตัดแกน Y หรือค่าคงที่ของสมการเชิงเส้นนั่นเอง (เทียบกับสมการเส้นตรง $y = mx + b$)

2.5.2 Rayleigh distribution

ความน่าเชื่อถือของการวิเคราะห์ความเร็วมอเตอร์โดยใช้ Weibull distribution นั้นขึ้นอยู่กับความแม่นยำในการประเมินค่า k และ c สำหรับการคำนวณที่แม่นยำของ k และ c ข้อมูลความเร็วมอเตอร์ที่เพียงพอ เก็บสะสมในช่วงเวลาที่สั้นกว่าและจำเป็น ในหลายกรณีเช่น ข้อมูลอาจไม่พร้อม ข้อมูลที่มีอยู่อาจจะอยู่ในรูปของความเร็วมอเตอร์เฉลี่ยครอบคลุมคาบเวลา (ยกตัวอย่างเช่น ความเร็วมอเตอร์ต่อวัน ต่อเดือน หรือต่อปี) ภายใต้สถานการณ์ที่เข้าใจง่าย ในกรณีของ Weibull distribution สามารถที่ลอกเลียนแบบ ดัดแปลง โดยการประมาณค่า k มีค่าเท่ากับ 2 และนี่คือการวิเคราะห์ความเร็วมอเตอร์โดยใช้ Rayleigh distribution แทนค่า $k = 2$ ในสมการ (2.10) จะได้

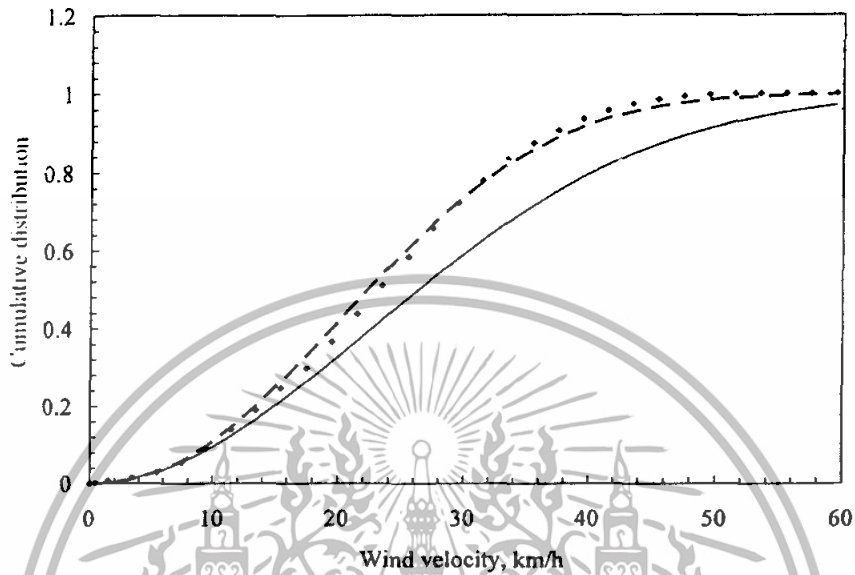
$$V_m = c \Gamma\left(\frac{3}{2}\right) \quad (2.21)$$

ประเมินค่าสมการข้างต้นและเรียบเรียงใหม่ จะได้

$$c = \frac{2V_m}{\sqrt{\pi}} \quad (2.22)$$

ดังนั้นเราสามารถเทียบค่า probability density และ cumulative distribution ของลมนบนพื้นฐานของความเร็วมอเตอร์เฉลี่ย ภายใต้วิธีการวิเคราะห์แบบ Rayleigh distribution ความน่าจะเป็นของความเร็วมอเตอร์ในช่วงความเร็ว V_1 และความเร็ว V_2 คือ

หากทำการเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์แบบ Weibull และ Rayleigh distribution จะเห็นได้ว่าวิธีการวิเคราะห์แบบ Weibull distribution นั้นมีลักษณะใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากกว่าแบบ Rayleigh distribution ดังรูปที่ 2.12



- : ข้อมูลจริง
- : ข้อมูลที่ใช้การวิเคราะห์แบบ Weibull distribution
- : ข้อมูลที่ใช้การวิเคราะห์แบบ Rayleigh distribution

รูปที่ 2.12 แสดงการเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ความเร็วลมโดยใช้แบบจำลองแบบ Weibull กับ Rayleigh Distribution

การวิเคราะห์ความเร็วลมนอกจากวิธีแบบ Weibull distribution และแบบ Rayleigh distribution แล้ว ยังมีแบบ Gamma distribution, Log normal distribution และ Logistic distribution อย่างไรก็ตามวิธีแบบ Weibull distribution และแบบ Rayleigh distribution ได้มีการยอมรับและใช้กันอย่างกว้างขวาง

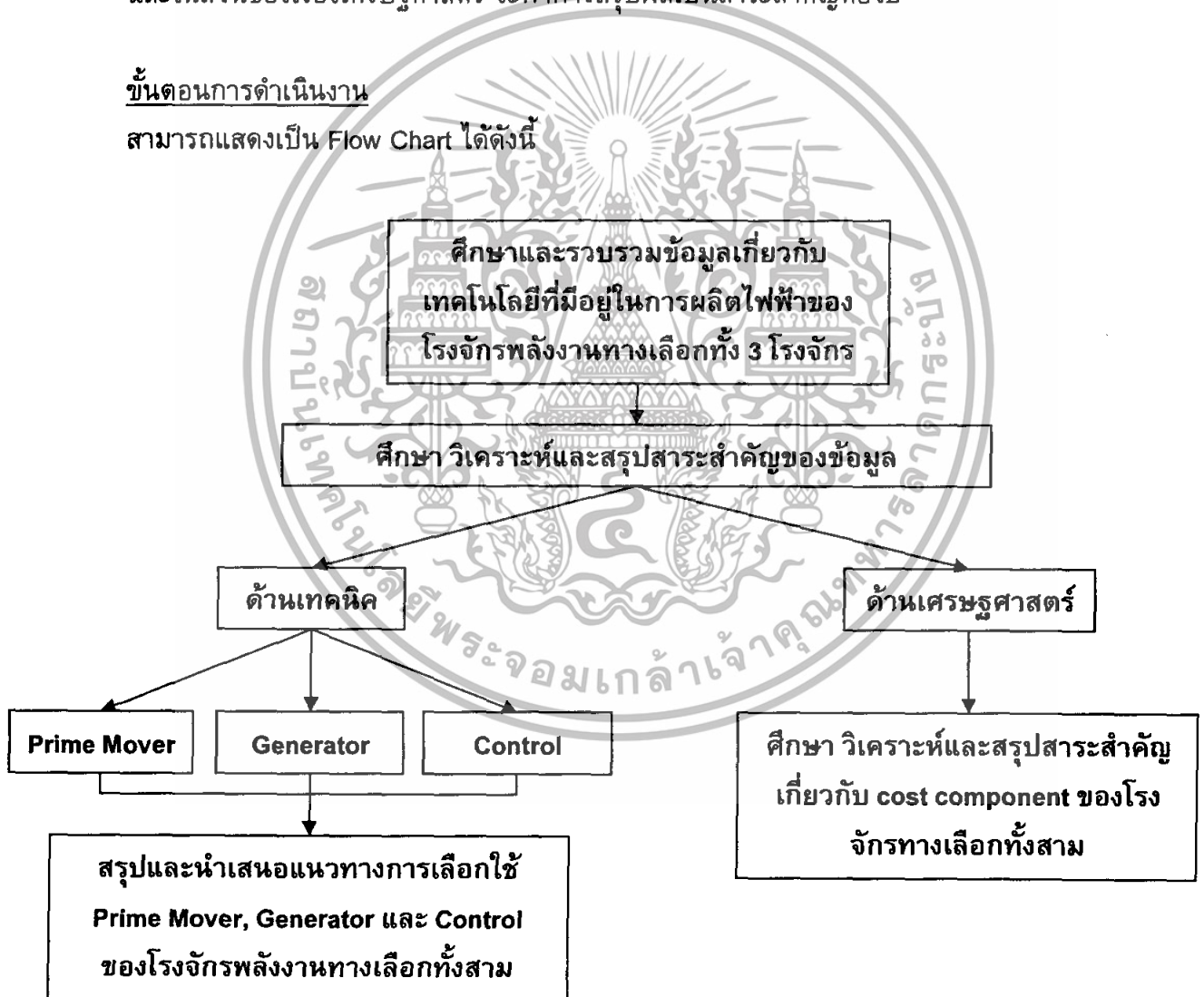
บทที่ 3

การออกแบบการทดลอง

ในบทนี้จะมีการแสดง Flow chart เพื่อแสดงถึงลักษณะและขั้นตอนการศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์ เปรียบเทียบเทคโนโลยีในการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงจักรไฟฟ้าพลังงานทางเลือก จากนั้นจะมีการนำเสนอเฉพาะข้อมูลเกี่ยวกับ ตัวต้นกำลัง (Prime mover), เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator), การควบคุม (Control) และ ด้านเศรษฐศาสตร์ (Economic) ของแต่ละโรงจักร เพื่อเป็นแนวทางในการสรุปผลเพื่อเลือกใช้ตัวต้นกำลัง (Prime mover), เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) และการควบคุม (Control) ที่เหมาะสมของแต่ละโรงจักรต่อไป และในส่วนของเรื่องเศรษฐศาสตร์ จะทำการสรุปผลเป็นสาระสำคัญต่อไป

ขั้นตอนการดำเนินงาน

สามารถแสดงเป็น Flow Chart ได้ดังนี้



3.1 โรงจักรไฟฟ้าพลังงานลม

3.1.1 ตัวต้นกำลัง (Prime mover)

ตัวต้นกำลังขับเคลื่อนของโรงจักรพลังงานลม คือ กังลมลม ซึ่งสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท คือ กังลมที่มีแกนเพลลาอยู่ในแนวนอน (horizontal-axis type wind turbine, HAWT) และ กังหันที่มีแกนเพลลาอยู่ในแนวตั้ง (vertical-axis type wind turbine, VAWT)

3.1.1.1 กังหันลมที่มีแกนเพลลาอยู่ในแนวนอน

กังหันลมที่มีแกนเพลลาอยู่ในแนวนอน (horizontal-axis type wind turbine, HAWT) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนวางตัวอยู่ในทิศขนานกับทิศทางของลม โดยมีใบเป็นตัวตั้งฉากรับแรงลม กังหันลมประเภทนี้ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและมีการนำมาใช้งานมากในปัจจุบัน เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานสูงแต่ต้องติดตั้งบนเสาที่มีความสูงมาก และมีชุดควบคุมให้กังหันลมหันหน้าเข้ารับแรงลมได้ทุกทิศทางในแนวนอนตลอดเวลา

แบบที่มีจำนวนใบไม่มาก คือมีตั้งแต่ 2 ถึง 4 ใบ กังหันลมแบบนี้จะมีความเร็วรอบสูง คือประมาณ 300 รอบต่อนาที หรือมากกว่า แต่แรงบิดเริ่มต้นต่ำ ดังนั้นกังหันลมแบบนี้จึงควรใช้ในที่ที่มีความเร็วลมพอประมาณจนถึงความเร็วลมสูง เมื่อความเร็วสูงจึงนิยมไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า เพราะเนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องการความเร็วรอบสูง

แบบที่มีจำนวนใบมาก กังหันลมแบบนี้จะให้แรงบิดเริ่มต้นสูง แต่ความเร็วรอบค่อนข้างต่ำดังนั้นกังหันประเภทนี้จึงเหมาะที่จะใช้งานทางกล เช่น ชุดระหัดวิดน้ำ, ปัมน์น้ำ เป็นต้น

3.1.1.2 กังหันลมที่มีแกนเพลลาอยู่ในแนวตั้ง

กังหันลมที่มีแกนเพลลาอยู่ในแนวตั้ง (vertical-axis type wind turbine, VAWT) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนตั้งฉากกับทิศทางของลม ซึ่งสามารถรับลมได้ทุกทิศทางและติดตั้งอยู่ในระดับต่ำได้ กังหันลมแบบนี้ที่รู้จักกันดีคือกังหันลมแบบแดร์เรียส (darrieus) ซึ่งออกแบบโดยวิศวกรชาวฝรั่งเศส ข้อดีของกังหันลมแกนตั้งคือ สามารถรับลมได้ทุกทิศทาง มีชุดปรับความเร็ว (gear box) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สามารถติดตั้งอยู่ที่ระดับพื้นล่างได้ นอกจากนี้ตัวเสาของกังหันลมยังไม่สูงมากนัก แต่มีข้อเสียคือประสิทธิภาพต่ำเมื่อเทียบกับกังหันลมที่มีแกนเพลลาแบบแนวนอน ดังนั้นในปัจจุบันจึงมีการใช้งานอยู่น้อย

การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของกังหันลม 2 แบบ

กังหันลมแนวตั้ง

ข้อดี

- รับลมได้รอบด้าน
- น้ำหนักตกลงบนฐานสมดุลกว่า
- เริ่มหมุนได้เองที่ความเร็วต่ำ
- ระบบการผลิต ส่งกำลังทำได้ง่าย
- ราคาถูก
- เพิ่มแขนการหมุนได้ไม่จำกัด

ข้อเสีย

- เกิดแรงต้านการหมุน
- ไม่สามารถรับลมได้ทุกใบ

กังหันลมแนวนอน

ข้อดี

- มีพื้นที่รับลมมากกว่าเมื่อน้ำหนักเท่ากัน
- มีประสิทธิภาพสูง
- มีแรงบิดรอบแกนสูง
- รอบจืดกว่าเมื่อความเร็วเท่ากัน
- รอบหมุนคงที่กว่า

ข้อเสีย

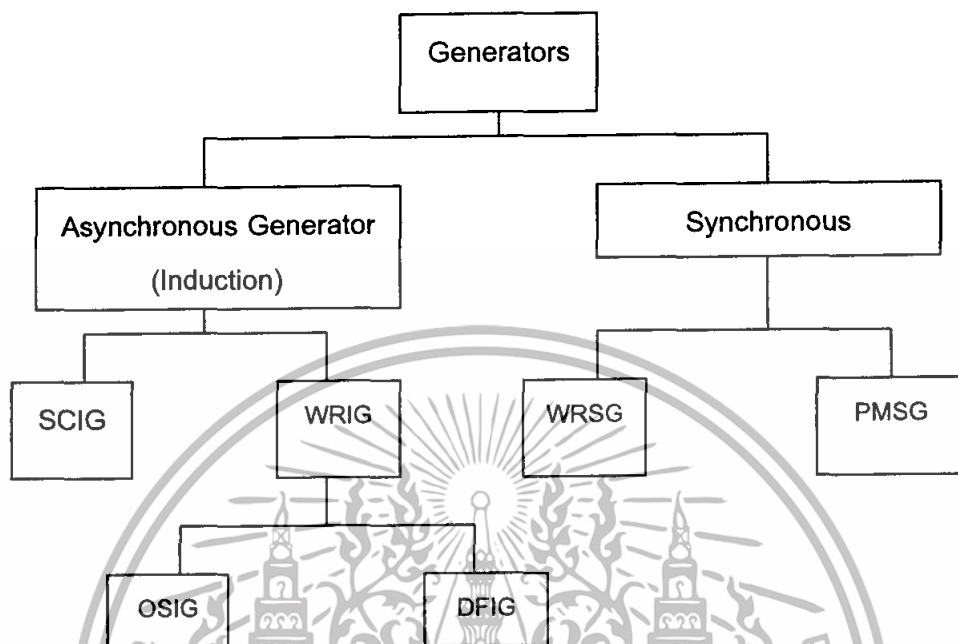
- มีปัญหาในการประกอบใบพัดกับฐาน
- มีปัญหาในการหมุนใบรับทิศทางลมที่เปลี่ยนไป



รูปที่ 3.1 กังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบแกนนอนและแบบแกนตั้ง

3.1.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator)

ในเรื่องของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในโรงจักรพลังงานลม จากการศึกษา ค้นคว้า พบว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้กันสามารถแบ่งประเภทที่ใช้ได้ตามแผนผังข้างล่างนี้



รูปที่ 3.2 รูปแบบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ในโรงจักรพลังงานลม

3.1.2.1 Asynchronous Generator (Induction)

โดยส่วนใหญ่แล้ว Asynchronous Generator หรือ Induction Generator จะเป็นที่ยอมรับใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากกระแสลม ข้อดีทั่วไป คือ มีความแข็งแรง ทนทาน, โครงสร้างง่าย ไม่ซับซ้อน นอกจากนั้นแล้วถ้านำไปใช้งานแบบหลายๆตัวร่วมกัน จะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย ในส่วนเรื่องของข้อเสียหลักๆนั้น คือ มีความต้องการ Reactive magnetizing current ที่ทางด้าน สเตเตอร์เนื่องจาก Induction Generator ไม่ได้มีส่วนประกอบของ แม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet) และการกระตุ้นแยก ดังนั้นจำเป็นต้องรับกระแสกระตุ้นจากแหล่งอื่น ซึ่งจะต้องบริโภคค่า Q (Reactive power) ค่า Q นี้จะถูกจ่ายโดยระบบ Grid หรือโดยระบบ อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power Electronic)

ในกรณีของการ AC excitation สนามแม่เหล็กที่ถูกสร้างขึ้นจะหมุนด้วยความเร็วค่าหนึ่ง คือ ค่าความเร็วซิงโครนัส ซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนขั้วแม่เหล็ก และความถี่ของกระแสส่งผลทำให้เกิด Induced voltage ขึ้นที่ขดลวดที่โรเตอร์ ทำให้เกิดกระแสไหลในขดลวดที่โรเตอร์ ส่งผลทำให้เกิดแรงบิดเกิดขึ้น แสดงตัวเป็นมอเตอร์ ดังนั้นถ้าโรเตอร์หมุนด้วยความเร็วที่มีค่าเกินกว่าความเร็วซิงโครนัส เครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะทำตัวเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยการทำงานสามารถแสดงอยู่ในรูปความสัมพันธ์ที่เรียกว่า ค่าสลิป s (Slip)

Induction Generator ที่ใช้ สามารถแบ่งประเภทได้ตามลักษณะของตัวโรเตอร์ของ Induction Generator สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบคือ

- Short-circuit rotor หรือ Squirrel cage induction generator (SCIG)
- Wound rotor induction generator (WRIG)

Squirrel cage induction generator (SCIG)

ทุกวันนี้ SCIG ยังถือว่าเป็นตัวเลือกที่นิยมใช้ทั่วไป เนื่องจากโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน ประสิทธิภาพสูง และการบำรุงรักษาที่ง่าย ในรูปแบบเทคโนโลยีของการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลม SCIG จะถูกนำมาใช้ใน Type A ที่เป็นแบบ ฟิกส์สปีด (Fixed speed) เนื่องจากคุณสมบัติที่เมื่อความเร็วลมเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้ค่า สลิป (Slip) เปลี่ยนไป แต่ตัว SCIG เองเปลี่ยนแปลงความเร็วเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

กักหน้ลมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เชื่อมต่อกันผ่าน เกียร์บ็อก (Gearbox) โดยตัวเกียร์บ็อก จะทำให้ความเร็วของโรเตอร์ สอดคล้องกับความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และติดตั้งพร้อมอุปกรณ์ ซอฟท์สตาร์ทเตอร์ (Soft-starter) และ คาปาซิเตอร์แบงก์ (Capacitor Bank)

เนื่องจาก SCIG มีค่า ความเร็วแรงบิด (Torque speed) ที่สูงมาก ทำให้เกิดการแกว่ง (Fluctuation) ในระบบ ซึ่งจะส่งผลโดยตรงกับ Grid ในสภาวะชั่วคราว จะเกิดวิกฤต โดยเฉพาะการเชื่อมต่อเข้า Grid ที่ซึ่งอาจมี กระแสพุ่งเข้า (Inrush Current) สูงถึง 7-8 เท่าของกระแสฟัด ในระบบ Weak grid ค่า กระแสพุ่งเข้า ที่สูง จะก่อให้เกิดผลเสียอย่างยิ่ง เพราะฉะนั้นการต่อเข้า Grid ของ SCIG ต้องทำอย่างค่อยเป็นค่อยไป ทีละเล็กละน้อย เพื่อที่จะจำกัด กระแสพุ่งเข้า และนี่คือเหตุผลที่ต้องใช้อุปกรณ์อย่าง ซอฟท์สตาร์ทเตอร์ เข้ามาช่วยในการทำงาน ในการทำงานสภาวะปกติ การต่อตรงเข้าระบบ Grid ที่มีความแข็งแรง SCIG จะมีความแข็งแรง ทนทาน และมีเสถียรภาพสูง

ค่า สลิป ของ Induction Generator จะเปลี่ยนแปลงและเพิ่มขึ้นตามโหลดที่เพิ่มขึ้น ปัญหาหลักคือ เนื่องจากการจะเป็นการบริโภคค่า Q มากขึ้น ซึ่งจะทำให้ค่า เพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power factor) ของระบบต่ำลง ซึ่งจะแก้ไขได้โดยใช้ คาปาซิเตอร์แบงก์ ต่อขนานที่ตัวเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและนี่ก็เป็นเหตุผลที่ใช้ อุปกรณ์อย่าง คาปาซิเตอร์แบงก์ เข้ามาช่วยในการทำงาน การที่ไม่มีอุปกรณ์ตัวใดเลยที่จ่าย Q ให้ SCIG เลย นอกจากรับจากการจ่ายโดย Grid อย่างเดียว ซึ่งจะส่งผลทำให้ระบบ Grid เกิด การสูญเสียทางสายส่ง (Transmission loss) และอาจทำให้ระบบขาดเสถียรภาพได้ เพราะฉะนั้นการที่มี คาปาซิเตอร์แบงก์ หรือ Power electronic converter สามารถนำมาช่วยลดการบริโภคค่า Q ได้ ข้อเสียหลักๆ ในการใช้คาปาซิเตอร์แบงก์ เข้ามาช่วยในการทำงานคือ จะเกิด Electrical transients ขึ้น ระหว่างการ switching-in ของระบบ

ในกรณีเกิด fault ขึ้น SCIG ปราศจากค่า Q ที่ส่งมาให้ ก็สามารถทำให้เกิดความไม่เสถียรภาพของ แรงดัน (Voltage) ในระบบขึ้นได้ ถ้ามีการเกิด fault เนื่องจากความไม่

สมมูลของ T_e กับ T_m เมื่อ fault ถูกเคลียร์แล้ว SCIG ก็จะต้อง Q มหาศาลจากระบบ Grid ซึ่งจะนำมาสู่การลดลงของแรงดัน

SCIG สามารถนำมาใช้ได้ทั้งในระบบกังหันลมแบบฟิสิกส์ปิด (Type A) และกังหันลมแบบฟูลเวริเอเบิลปิด (Type D) ในกรณีหลัง ค่า variable frequency power ของเครื่องจักรจะถูกทำให้เป็นค่า fixed frequency power โดยการใช้ bidirectional full-load back-to-back power converter

Wound rotor induction generator (WRIG)

โดยลักษณะโครงสร้างทางไฟฟ้าแล้ว ทางด้านตัวโรเตอร์ขดลวดของ WRIG สามารถเชื่อมต่อกับภายนอกได้ โดยผ่านสลิปริงและแปรงถ่าน หรืออาจจะเป็น Power electronic ที่ต้องการ สลิปริงและแปรงถ่าน หรือไม่ก็ได้

การใช้ Power electronic จะช่วยให้กำลังไฟฟ้าสามารถถูกพิจารณาแยกได้ ซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถกระตุ้นสร้างสนามแม่เหล็กได้จากวงจรสเตเตอร์หรือวงจรรอเตอร์ก็ได้ ซึ่งอาจจะมีความเป็นไปได้ที่จะมีการคืนพลังงานสลิปจากวงจรรอเตอร์ ไปป้อนให้กับด้านสเตเตอร์

ข้อเสียที่พบได้ทั่วไป คือ มีราคาแพงกว่าและไม่แข็งแรงทนทานเมื่อเทียบกับ SCIG

ในวงการอุตสาหกรรมผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลม WRIG ใช้อยู่ 2 รูปแบบ คือ OptiSlip induction generator (Type B) และ Doubly-fed induction generator (Type C)

OptiSlip induction generator (OSIG)

รูปร่างหน้าตาของ OptiSlip ถูกแนะนำให้รู้จักโดยบริษัทผู้ผลิต Vestas ในประเทศเดนมาร์ก เพื่อที่จะลดโหลดของกังหันลมในช่วงเวลาที่มีลมกระโชก ลมแรง ให้มีค่าน้อยที่สุด

คำว่า OptiSlip ก็คือ Variable slip ปรับย่านความเร็วได้ในช่วงแคบๆ ผลคือเกิด smaller fluctuation ในแรงบิดและกำลังไฟฟ้าเอาท์พุทและในส่วนของเทคโนโลยี OptiSlip คือ WRIG ต่อกับ variable external rotor resistance ที่ติดอยู่กับขดลวดที่ตัวโรเตอร์ ค่าสลิปของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าปรับเปลี่ยนได้โดยปรับ Rotor resistance หรือ converter (optically control) ซึ่งติดอยู่ที่ตัวเพลลาของโรเตอร์ ในเรื่องของ Optically control ไม่จำเป็นต้องมีสลิปริง

ข้อดี คือ วงจรจ่ายต่อความเข้าใจ, ไม่มีความจำเป็นที่ต้องใช้สลิปริงและมีการปรับปรุงย่านความเร็วทำงานได้ เมื่อเทียบกับ SCIG ประกอบกับมีความน่าเชื่อถือสูง, ง่าย ๆ ไม่ซับซ้อน และเป็นหนทางที่มีความประหยัดที่ใช้ในการลดโหลด เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆที่ซับซ้อน เช่น ระบบ variable-speed wind turbine ที่ใช้ full-scale converter ประเด็นของ

OptiSlip ก็คือ ลด mechanical load และ fluctuations ซึ่งมีสาเหตุมาจากลมกระโชก ลมแรง อย่างไรก็ตาม ยังต้องการอุปกรณ์ชดเชยการบริโภคค่า Q อยู่

ข้อเสีย คือ ความเร็วมีช่วงจำกัด 0 – 10% ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับขนาดของ Rotor Resistance และค่ากำลังสลิป ยังสูญเสียไปกับ variable resistance นอกจากนี้แล้วยังคงไม่สามารถควบคุมการบริโภค Q ได้

Doubly-fed induction generator (DFIG)

DFIG คือ WRIG ซึ่ง Stator winding ต่อตรงเข้า Grid 3 เฟส ที่มีความถี่คงที่ และ Rotor winding ซึ่งมี bidirectional back-to-back IGBT voltage source converter อยู่ด้วย DFIG มีความน่าสนใจ โดยสังเกตจากข้อมูลทางการตลาด พบว่ามีการเลือกใช้อย่างแพร่หลาย

คำว่า doubly-fed นั้นมาจากแรงดันบนสเตเตอร์ มาจาก Grid และแรงดันบนโรเตอร์ มาจาก power converter

DFIG ใช้ได้กับ variable-speed ช่วงกว้างๆ ไม่จำกัดช่วงการทำงาน Converter จะชดเชยความถี่ที่แตกต่างกันระหว่าง mechanical และ electrical โดยจ่ายกระแสที่โรเตอร์ด้วยความถี่ที่ปรับค่าได้ทั้งในการทำงานปกติและเกิด Fault จะถูกควบคุมโดย power converter ทั้งหมด power converter ประกอบด้วย 2 converter คือ Rotor-side converter และ Stator-side converter โดยจะควบคุมอิสระต่อกัน Rotor-side converter ควบคุม P,Q โดยควบคุม rotor current component ควบคุมความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า นำกำลังสลิปกลับคืนสู่แหล่งจ่ายไฟ Stator-side converter หรือ Grid-side converter หรือ Line-side converter ควบคุมแรงดันที่ DC link ควบคุมเวกเตอร์ของกระแส และจ่าย Q ให้ระบบ เพื่อให้มั่นใจได้ว่าเป็น unity p.f. ($Q=0$) เงื่อนไขสภาพการทำงานโดยการชับกกำลังไฟฟ้าถูกป้อนเข้าและออกที่โรเตอร์ มีอยู่ 2 ลักษณะ คือ

Oversynchronous (supersynchronous)

: กำลังไฟฟ้าไหลจากโรเตอร์ ผ่าน converter ไป grid

Subsynchronous

: กำลังไฟฟ้าไหลจาก grid ผ่าน converter ไปโรเตอร์

จะเห็นว่าคล้ายๆว่าสเตเตอร์จะมีการป้อนพลังงานให้ grid ตลอด

ข้อดี คือ สามารถควบคุมบริโภค Q ได้ แยกควบคุม P และ Q ได้ และไม่จำเป็นต้อง magnetised จาก grid สามารถ magnetised จากวงจรโรเตอร์ได้

ในระบบ weak grid แรงดันอาจเกิด fluctuate ขึ้นได้ แต่ DFIG อาจจะมีการผลิตหรือดูด Q จาก grid เพื่อจุดประสงค์ในการทำควบคุมแรงดัน

ในเรื่องของขนาดของ converter ที่ใช้ในการทำงาน จะไม่เกี่ยวกับกำลังที่ผลิตออกมาทั้งหมด แต่ขึ้นกับช่วงความเร็วที่ใช้งาน ราคาจะสูงขึ้นเมื่อมีช่วงความเร็วที่ความเร็ว

ประมาณความเร็วเชิงโรตอร์สูงมากขึ้น การเลือกช่วงความเร็วต้องพิจารณาในเรื่อง เศรษฐศาสตร์และค่าประสิทธิภาพด้วย

ข้อเสีย คือ ยังคงมีความต้องการใช้สลีปรिंगอยู่

3.1.2.2 Synchronous Generator

Synchronous Generator มีราคาแพงกว่าและมีความซับซ้อนทางด้าน mechanic ที่มากกว่า Induction Generator เมื่อเทียบที่ขนาดที่ใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามมี ข้อดีที่เห็นได้ชัด เมื่อเทียบกับ Induction Generator คือ ไม่ต้องการ reactive magnetizing current สนามแม่เหล็กใน Synchronous Generator สามารถสร้างโดย permanent magnet หรือ field winding ถ้า Synchronous Generator มีจำนวนขั้วแม่เหล็กที่เหมาะสม (multipole WRSG or multipole PMSG) ก็สามารถใช้สำหรับ Direct drive โดยปราศจากการใช้เกียร์บี อกซ์ ได้ Synchronous machine มีความเหมาะสมเป็นอย่างมากสำหรับ full power control เมื่อต่อเข้า grid ผ่าน power converter

ในส่วนของ converter มี 2 จุดมุ่งหมายหลัก คือ

1) เป็นตัวช่วยลดค่าพลังงานของ power fluctuation ซึ่งมีสาเหตุมาจาก พลังงานลมกระโชก พายุกระทันหัน และสภาวะ transient ที่มาจากด้าน grid side

2) ควบคุม magnetisation และหลีกเลี่ยงปัญหา โดยการคงไว้ซึ่ง synchronous กับความถี่ของ grid

Synchronous Generator ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานแบบ variable-speed แบ่งได้เป็น 2 แบบในอุตสาหกรรม wind turbine คือ

1) Wound rotor synchronous generator (WRSG)

2) Permanent magnet synchronous generator (PMSG)

Wound rotor synchronous generator (WRSG)

จากบทความวิจัยหลายฉบับที่ผ่านมา จะพบว่า WRSG ใช้งานได้ดี ทั้งใน ด้าน steady-state performance และ fault performance

stator winding ของ WRSG ต่อตรงเข้ากับ grid และ rotational speed ถูก จำกัดโดยความถี่ของ grid ในส่วนของ rotor winding ถูกกระตุ้นด้วย DC โดยการใส่สลีปรिंगและ แปรปร่งถ่าน หรือตัวกระตุ้นที่ไม่มีแปรปร่งถ่าน กับ rotating rectifier จะไม่เหมือนกับ induction generator เพราะ synchronous generator ไม่ต้องการระบบชดเชยการบริโภคร Q

ความเร็วของ synchronous generator ถูกกำหนดโดยความถี่ของ rotating field และโดย จำนวนขั้วของขั้วของโรเตอร์ ส่วน rotor winding จะมี DC ไหลผ่าน ก่อให้เกิด exciter field หมุนควบคู่ไปกับความเร็วเชิงโรตอร์

ผู้ผลิตอย่าง Enercon & Lagerwey ใช้ WRSG ใน TypeD ด้วย multipole (low speed) WRSG และด้วยเหตุนี้จะทำให้ไม่ต้องใช้ Gearbox

ข้อดี คือ ไม่มีและไม่ต้องใช้เกียร์บ็อกซ์ แต่ราคาสำหรับการออกแบบระบบที่รองรับการไม่มี gear มีค่าสูง มีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก ประกอบกับมีการใช้ full-scale power converter เพื่อการทำงานที่ full power ของระบบ นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์ใช้ 4 pole (high speed) WRSG โดยระบบนี้จะมีการใช้เกียร์บ็อกซ์

Permanent magnet synchronous generator (PMSG)

หลายบทความการวิจัยได้แนะนำการใช้งาน PMSG ใน wind turbine เนื่องด้วยคุณสมบัติที่สามารถ self-excitation ซึ่งก็จะสามารถทำงานใน power factor สูงๆ และมีประสิทธิภาพสูงๆ permanent magnet จะมีประสิทธิภาพสูงกว่า induction machine เพราะการกระตุ้นไม่ใช้พลังงานจาก grid อย่างไรก็ตาม ราคาสำหรับวัสดุที่ใช้ผลิตเป็นแม่เหล็กถาวรนี้มีราคาสูงมาก เพราะยากต่อการผลิต

permanent magnet excitation มีความต้องการที่จะใช้ full-scale power converter เพื่อที่จะปรับแรงดันและความถี่ให้ถึงแรงดันและความถี่ของระบบสายส่ง อย่างไรก็ตามกำลังไฟฟ้า สามารถถูกผลิตที่ความเร็วค่าไหนก็ได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพเงื่อนไขของกระแส

สเตเตอร์ของ PMSG เป็นแบบ wound ส่วนโรเตอร์เป็นขั้วแม่เหล็กถาวรซึ่งอาจจะอยู่ในรูปแบบของ Salient pole หรือ ในรูปแบบทรงกระบอก

Salient pole ใช้กับ slow-speed machine อาจจะเป็นมุมมองที่มีประโยชน์มากที่สุดในการใช้งานสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมโดยทั่วไป slow-speed synchronous machine ที่เป็นแบบ salient pole จะเป็นแบบหลายขั้วด้วยก็ได้

มีความแตกต่างของค่า permanent magnet ที่ได้นำเสนอในบทความต่างๆ ส่วนใหญ่ที่พบจะปรากฏในรูปแบบของ radial flux, axial flux และ transversal flux machine

มีปัญหาเกิดขึ้นในเรื่องการ start up, การ synchronization และ voltage regulation ซึ่งเป็นปัญหาโดยทั่วไปของ Synchronous Generator

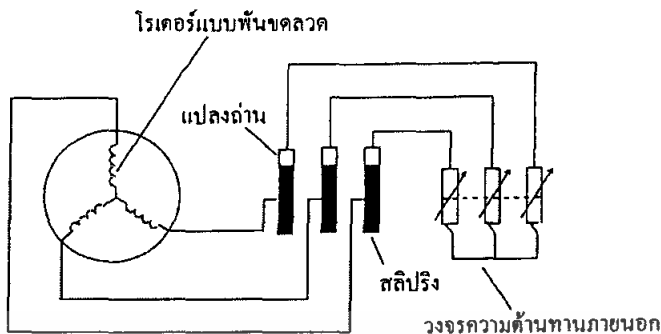
ข้อเสียอื่นๆ ก็คือ วัสดุที่ใช้ทำ permanent magnet อ่อนไหวกับอุณหภูมิได้ง่าย สามารถเสียคุณสมบัติทางแม่เหล็กไปได้ เมื่ออยู่ในอุณหภูมิที่สูง(ซึ่งอาจเป็นตอนเกิด fault) เพราะฉะนั้นจำเป็นต้องมีการการดูแลเป็นพิเศษ ควรมีระบบระบายความร้อนที่ดี

3.1.3 การควบคุม (Control)

ในเรื่องของการ Control นั้น จะมองในแง่ของการขับเคลื่อน (Drive) การขับเคลื่อน WRIG มี 3 รูปแบบ ดังนี้

1) Rotor resistance (ค่าความต้านทานจากภายนอกที่ปรับค่าได้ต่ออนุกรมกับ rotor winding) จะทำให้เกิดความสูญเสียที่ตัวต้านทาน ส่งผลทำให้มีประสิทธิภาพต่ำ นอกจากนี้

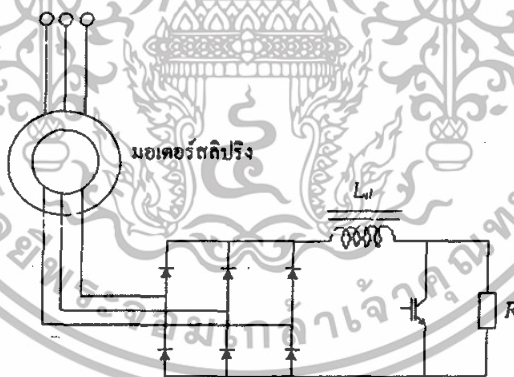
แล้วยังปรับแรงดันได้เป็นขั้นๆ ปรับ R โดยใช้วิธีทางกล (เลื่อนแถบตัวนำ) เกิดการกระโดดของกระแสระหว่างตัวต้านทานกับหน้าสัมผัสที่ใช้ปรับเปลี่ยนค่า R อาจส่งผลให้เกิดเขม่าสกปรกได้



รูปที่ 3.3 การต่อความต้านทานเข้ากับวงจรโรเตอร์

2) อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ จะไม่ใช้หน้าสัมผัส แต่จะใช้คุณสมบัติของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำแทน มาเป็นตัวควบคุม

- Rectifier แปลง ac เป็น dc ที่ rotor circuit
- L_d กรองกระแสให้เรียบ
- Switching เปลี่ยนทิศทางเดินของกระแส ทำหน้าที่ DC chopper
- แต่ยังมีกำลังสูญเสีย เกิดขึ้นที่ R



วงจรไดโอดบริดจ์เรกติไฟเออร์ ดิซชอปเปอร์

รูปที่ 3.4 การใช้ดิซชอปเปอร์ควบคุมความเร็วของมอเตอร์แบบวาล์วโรเตอร์

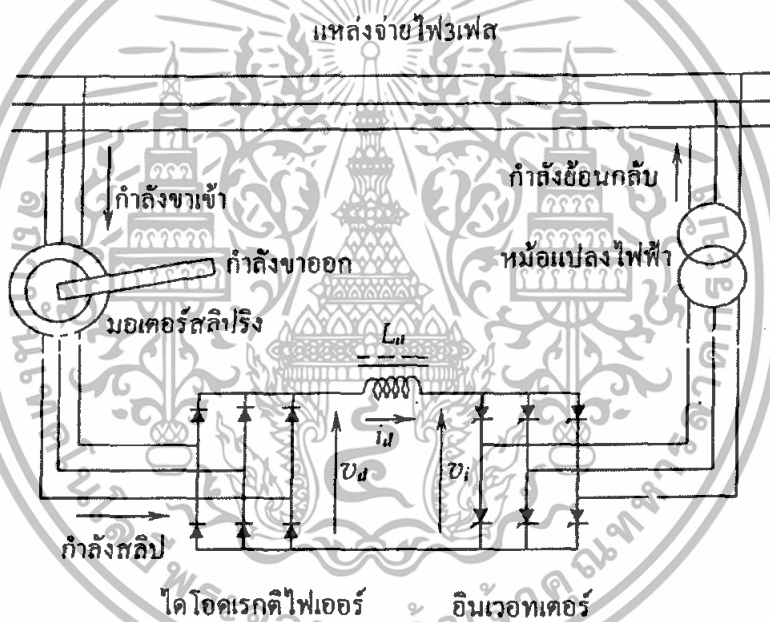
3) ระบบขับเคลื่อนแบบสถิต มีการคิดค้นและพัฒนาขึ้นเพื่อนำ loss ที่เกิดขึ้นกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ โดยใช้หลักการของ inverter และ Cyclo converter โดยมี 2 รูปแบบคือ

- ระบบขับเคลื่อนเครเมอร์แบบสถิต
- ระบบขับเคลื่อนเซอร์เบียสแบบสถิต

ระบบขับเคลื่อนเครเมอร์แบบสถิต

หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ระบบขับเคลื่อนแบบคาสเคด ลักษณะวงจรของระบบขับเคลื่อนนี้ จะแสดงให้เห็นตามรูปที่ 3.5 ด้านล่าง

ระบบขับเคลื่อนเครเมอร์แบบสถิต จะดึงพลังงานที่ใช้ปรับความเร็วรอบและส่งพลังงานกลับไปใช้ประโยชน์ได้ใหม่ (slip power recovery) แทนที่จะถูกปล่อยทิ้งไปกับตัวต้านทานไปโดยเปล่าประโยชน์ (ไม่มี P_{loss} เพราะไม่มี R) ส่วนแรกเป็น Rectifier ทิศทางการไหลจาก Rotor ไป Source ทิศทางเดียว ทำให้ $N_r < N_s$ เรียกว่าโหมด subsynchronous ส่วนภาค Inverter ปรับแรงดัน โดยการควบคุม phase อาจจะมี Harmonic ปะปนอยู่ แก้ไขโดยใช้ PWM แม้จะทำให้ประสิทธิภาพต่ำลงบ้าง เพราะมี loss ที่ inverter เพิ่มขึ้น กระแสจาก rotor ไป source ประกอบกับกระแสไหลเข้า stator ทำให้ตัว machine ต้องดึงกระแสมาก ส่งผลให้ p.f. ของระบบต่ำลง



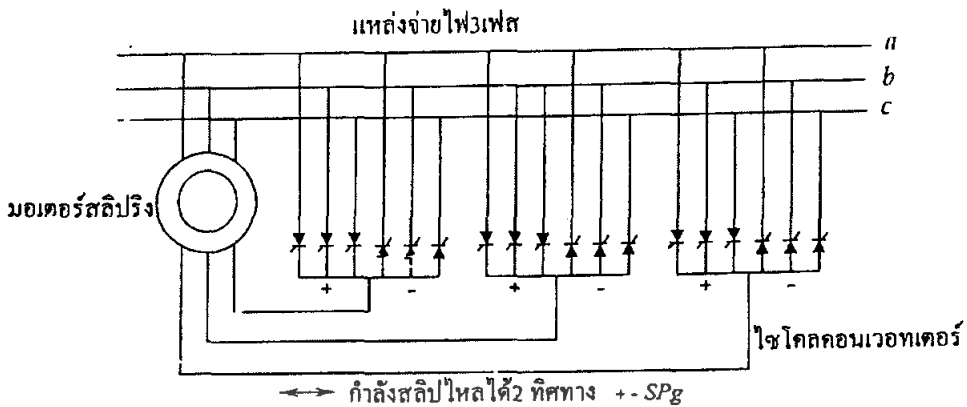
รูปที่ 3.5 ระบบขับเคลื่อนเครเมอร์แบบสถิต

ระบบขับเคลื่อนเซอร์เบีสแบบสถิต

ความแตกต่างจากเครเมอร์สถิต คือ สามารถควบคุมกำลังสลลิ่ง (slip power) ให้ไหลเข้าวงจรทางด้าน rotor ได้ เนื่องจากอุปกรณ์ Electronic เป็นไทรสเตอร์ เพราะฉะนั้นตัวเครื่องจักรทำงานได้ 2 โหมด คือโหมด supersynchronous และโหมด subsynchronous

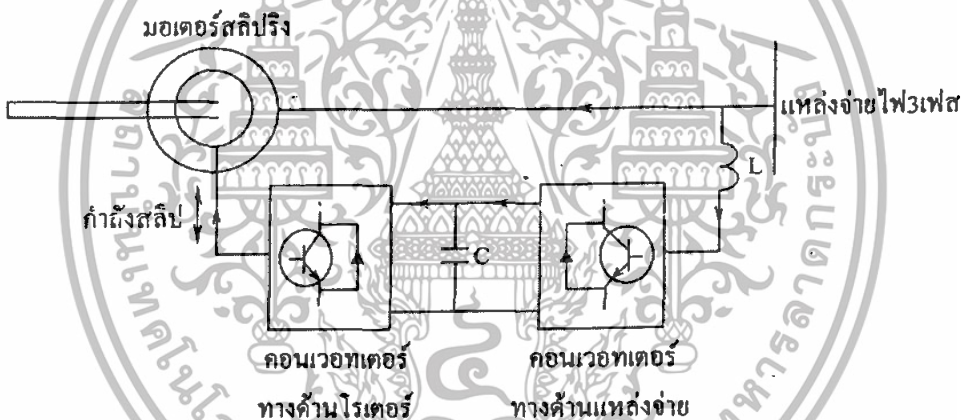
การเลือกใช้แบบนี้ในการควบคุมกำลังสลลิ่ง แม้จะมีความสามารถและข้อดีที่มากกว่า แต่ราคาและความยุ่งยากของชุดควบคุมก็มีมากด้วย การสร้างวงจรกำลังของระบบขับเคลื่อนเซอร์เบีสแบบสถิตมี 2 แบบ ดังนี้

แบบที่ 1 มีลักษณะเป็นวงจร cyclo converter



รูปที่ 3.6 วงจรภาคกำลังของระบบขับเคลื่อนเซอร์เบียดแบบสลิป

แบบที่ 2 converter 2 ตัวต่อแบบ back-to-back และใช้การเปลี่ยนการนำกระแสของไทรสเตอร์แบบ force commutated ด้วยวิธีการปรับความกว้างของพัลส์หรือแบบ PWM ช่วยลดฮาร์มอนิกที่เข้าไปปะปนกับระบบไฟฟ้า



รูปที่ 3.7 วงจรภาคกำลังของเซอร์เบียดคอนเวอเตอร์ต่อแบบ back to back

3.1.4 ด้านเศรษฐศาสตร์ (Economic)

Cost component แบ่งออกเป็น

- เงินลงทุน (Investment cost)
- การดำเนินการและการบำรุงรักษา (O & M)

3.1.4.1 เงินลงทุน แบ่งออกเป็น

1. กังหันลม	74.57 %
2. การเชื่อมต่อเข้าระบบ	3.39 %
3. การก่อสร้าง	10.17 %
4. การวางแผน	3.73 %
5. อื่นๆ	8.14 %

3.1.4.2 การดำเนินการและการบำรุงรักษา (O & M) แบ่งออกเป็น

1. ค่าประกัน (Insurance)
2. การบำรุงรักษา (Regular maintenance)
3. การซ่อมแซม (Repair)
4. อะไหล่สำรอง (Spare parts)
5. การบริหาร (Administration)

- Repair and Spare parts cost มีส่วนเกี่ยวข้องกันยากต่อการคาดเดา เปลี่ยนแปลงตามอายุการใช้งานของตัวกังหันมีการเปลี่ยนแปลงได้ง่าย

- Insurance, regular maintenance and Administration cost ราคาค่อนข้างคงที่ไม่แตกต่างกันมากเกินไป

O&M cost ในครั้งแรกมีค่าต่ำประมาณ 2-3% ของราคาเงินลงทุนทั้งหมด

O&M cost หลังจาก 6 ปีไปแล้วจะมีค่าเพิ่มขึ้นโดยจะมีค่าน้อยกว่า 5% ของ

ราคาเงินลงทุนทั้งหมด

ราคาต่อหนึ่งหน่วยผลิต (unit cost)

โดยทั่วไปแล้ว ค่า unit cost ขึ้นอยู่กับ Investment cost และ O&M cost นอกจากนี้แล้วความสามารถในการผลิตกำลังไฟฟ้าก็เป็นปัจจัยอีกสำคัญหนึ่งที่ส่งผลต่อค่า unit cost ด้วย

สำหรับราคาในประเทศไทย โดยข้อมูลจาก EGAT

กังหันลมขนาด 150 kW

1. เงินลงทุนรวม	13,100,000	บาท
2. การผลิตพลังงานไฟฟ้า	197,000	kWh/ปี
3. O&M	260,000	บาท/ปี
4. Cost of generation (Discount rate 9.5%)		
-: ไม่คิดผลของเงินสนับสนุน	8.69	บาท/kWh
5. FIRR	12.00	%

กังหันลมขนาด 750 kW

1. เงินลงทุนรวม	42,843,000	บาท
2. การผลิตพลังงานไฟฟ้า	985,000	kWh/ปี
3. O&M	850,000	บาท/ปี
4. Cost of generation (Discount rate 9.5%)		
-: ไม่คิดผลของเงินสนับสนุน	6.20	บาท/kWh
5. FIRR	12.00	%

ที่มา : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2007)

3.2 โรงจักรไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก

3.2.1 ตัวต้นกำลังขับ (Prime mover)

จะใช้กังหันน้ำในการขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยสามารถแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ 2 ประเภท คือ

3.2.1.1 กังหันแบบกระแทก (Impulse turbine)

เครื่องกังหันน้ำแบบนี้มักใช้กับเขื่อนที่มีหัวน้ำสูง พลังงานศักย์ของน้ำจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ทั้งหมด โดยผ่านหัวฉีดก่อนเข้าตัวกังหัน ขณะที่น้ำพุ่งกระทบตัวกังหัน จะมีความดันคงที่เท่ากับความดันของบรรยากาศปกติ การเปลี่ยนแปลงความเร็วและทิศทางของน้ำหลังจากผ่านหัวฉีด จะเกิดมีแรงกระทำที่วงล้อของตัวกังหันทำให้เกิดงานขึ้น การควบคุมกำลังงานที่วงล้อสามารถทำได้โดยปรับหัวฉีด ซึ่งเป็นการปรับปริมาณน้ำให้มาก – น้อยได้ตามต้องการ

สรุปลักษณะโดยย่อของกังหันแบบแรงกระแทกคือ

- พลังงานที่น้ำป้อนให้ตัวกังหันเป็นพลังงานจลน์ทั้งสิ้น

- การผลัดดันให้ตัวกังหันหมุน ใช้ความเร็วของน้ำที่ผ่านออกจากหัวฉีด ภายใต้บรรยากาศปกติ

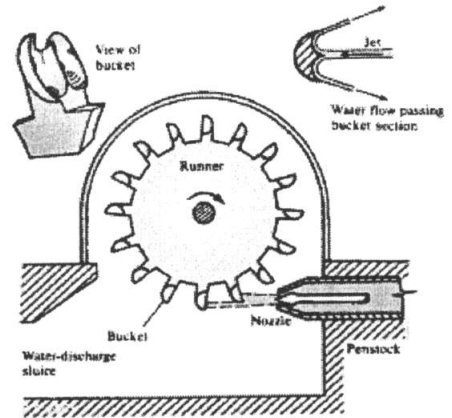
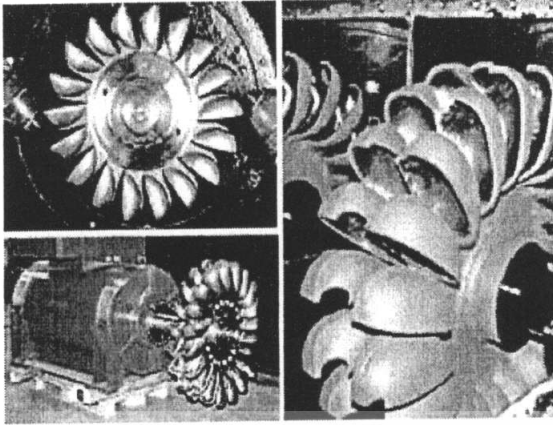
ความดัน

- น้ำที่เข้าไปผลัดตัวกังหัน อาจเข้าไปจุดเดียว หรือหลายจุดก็ได้ แต่จะไม่ท่วม

ตัวกังหัน

1) กังหันน้ำเพลตัน (Pelton turbine)

โดยทั่วไปกังหันน้ำเพลตันเหมาะสำหรับการผลิตไฟฟ้าที่มีระดับของหัวน้ำสูงซึ่งสูงกว่า 250 เมตร ใช้ความเร็วในการหมุนจะช้า และตัวหมุนต้องการพื้นที่มาก แต่ก็สามารถใช้ในระดับความสูงหัวน้ำที่น้อยกว่าได้ ในกรณีที่เป็นระบบเล็ก – ถูกออกแบบโดยใช้ถ้วยรับน้ำ (bucket) หลาย ๆ ใบซึ่งติดอยู่ในวงล้อภายในตัวกังหันเป็นแบบถ้วยคู่ ถ้วยเหล่านี้จะรับน้ำจากหัวฉีด โดยแบ่งน้ำไปทางซ้ายและขวาด้วยสันแนวที่อยู่ตรงกลางของถ้วย หน้าที่ตัดตรงขอบล่างของถ้วยรับน้ำจะมีรอยเว้าอยู่ เพื่อที่จะช่วยให้น้ำที่ฉีดจากหัวฉีดนั้นตกกระทบถ้วยรับน้ำอย่างต่อเนื่องในช่วงเปลี่ยนถ้วย น้ำตรงหัวฉีดจะมีเข็ม (Needle) สำหรับปรับปริมาตรของน้ำให้มีความดันมากขึ้นหรือลดลง ทำให้สามารถปรับความเร็วการหมุนของกังหันได้



รูปที่ 3.8 แสดงตัวอย่างของกังหันน้ำเพลตัน

2) กังหันน้ำเทอร์โก (Turgo turbine)

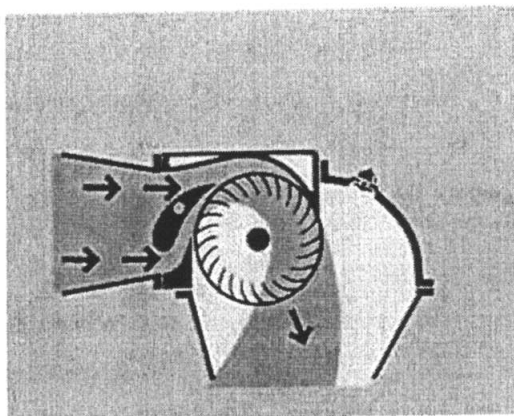
เป็นกังหันที่ถูกพัฒนาขึ้นจากกังหันน้ำแบบเพลตันโดยภายในตัวกังหันน้ำนี้จะใช้ถ้วยรับน้ำแบบเดี่ยวและค่อนข้างตื้นแทนถ้วยรับน้ำแบบคู่กังหันน้ำประเภทนี้เหมาะสำหรับแหล่งน้ำที่มีหัวน้ำที่มีระดับความสูงปานกลางเพราะสามารถใช้กับลำน้ำที่ผ่านหัวฉีดซึ่งมีความเร็วไม่มากนัก และมีความสามารถในการรับ ปริมาณน้ำได้มากกว่ากังหันน้ำเพลตัน เป็นผลให้เส้นผ่านศูนย์กลางของกังหันน้ำเทอร์โกมีขนาดเล็กกว่า ณ กำลังผลิตเท่ากัน ส่วนตัวหมุนจะทำได้ยากกว่าและใบพัดของตัวหมุนจะเปราะกว่าของกังหันน้ำเพลตัน สามารถใช้ได้ทั้งแนวตั้งและแนวนอน



รูปที่ 3.9 แสดงตัวอย่างของกังหันน้ำเทอร์โก

3) กังหันน้ำครอสโฟลว์ (Crossflow turbine)

ตัวหมุนจะมีรูปร่างเป็นถังกลมคล้ายกลอง ประกอบไปด้วย แผ่นหมุน ขนานกัน 2 แผ่นต่อเข้าด้วยกัน โดยมีใบพัดแบบโค้งวางเรียงกันตรงขอบระหว่างแผ่นหมุนทั้ง 2 แผ่น หลักการทำงาน คือ น้ำจะถูกฉีดในแนวเส้นสัมผัสของตัวหมุน น้ำจะพุ่งชนใบพัดและส่งมาเป็นพลังงานจลน์ผ่านตัวหมุนและพุ่งชนเข้ากับใบพัดอีกครั้ง ก่อนที่ออกจากกังหันทำให้ประสิทธิภาพของกังหัน เพิ่มขึ้น แต่ปัจจุบันไม่นิยมใช้



รูปที่ 3.10 แสดงตัวอย่างของกังหันน้ำครอสโฟลว์

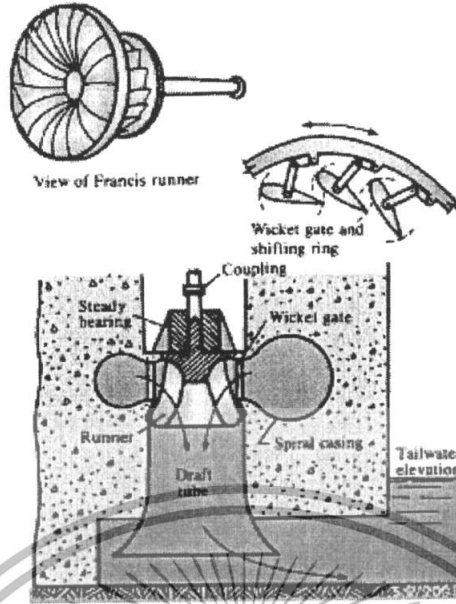
3.2.1.2 กังหันแบบแรงสะท้อน (Reaction turbine)

เครื่องกังหันน้ำแบบนี้ มักใช้กับเขื่อนที่มีหัวน้ำต่ำและปานกลาง โดยน้ำที่เข้าสู่ตัวกังหัน จะมีความดันสูงกว่าความดันของบรรยากาศปกติ พลังงานศักย์ของน้ำจะเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ และพลังงานความดันระหว่างทางที่น้ำไหลผ่านใบพัด ความเร็วและความดันจะลดลงและถูกปล่อยออกมาในสภาวะความดันบรรยากาศปกติ และความเร็วที่ต่ำมาก สรุปลักษณะโดยย่อของกังหันน้ำแบบแรงได้คือ

- พลังงานที่น้ำป้อนให้กับตัวกังหันเป็นทั้งพลังงานศักย์ และพลังงานจลน์
- การผลัดดันให้ตัวกังหันหมุน ใช้แรงดันหนุนต่อเนื่องกัน จึงมีความกดดันสูงกว่าบรรยากาศ
- น้ำที่เข้าไปผลักตัวกังหัน จะแทรกเข้าไปในช่องระหว่างใบพัดเต็มทุกช่องพร้อมกัน และจะท่วมตัวกังหันทั้งหมด

1) กังหันน้ำฟรานซิส (Francis turbine)

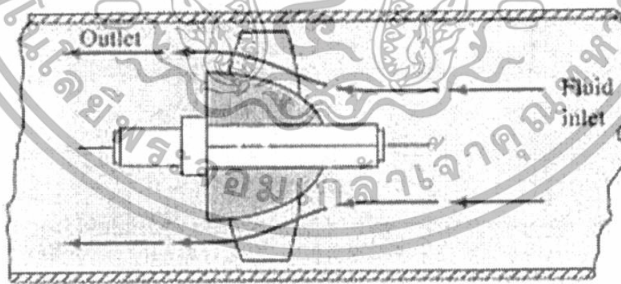
เป็นกังหันน้ำที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเพราะสามารถใช้กับแหล่งน้ำที่มีระดับของหัวน้ำ ตั้งแต่ 2 - 300 เมตร หลักการทำงาน คือ น้ำที่ถูกส่งเข้ามาจากท่อส่งน้ำจะไหลเข้าสู่ท่อกันหอย ที่ประกอบอยู่รอบๆ ตัวกังหัน ท่อกันหอยจะมีขนาดของพื้นที่หน้าตัดเล็กลงตามความยาวของท่อ เพื่อต้องการทำให้น้ำมีแรงดันและความเร็วในการไหลมากขึ้นภายในท่อกันหอยจะมีน้ำเต็มอยู่ ตลอดเวลาน้ำที่ไหลในท่อกันหอยจะแทรกตัวผ่านลึนนำน้ำเข้าเพื่อเข้าสู่ตัวกังหันน้ำทำให้วังล้อ เกิดการหมุนได้ ลึนนำน้ำเข้าสามารถปรับแต่งมุมให้ปิดหรือเปิดได้มากน้อยตามความต้องการ กังหันน้ำฟรานซิสมีทั้งแกนตั้งและแกนนอน โดยที่ในแกนนอนจะใช้กังหันที่มีขนาดเล็กกว่า สำหรับประสิทธิภาพจะสูงเมื่อใช้งานเต็มภาระ แต่จะมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำเมื่อใช้งานที่ภาระต่ำ



รูปที่ 3.11 แสดงตัวอย่างของกังหันน้ำแบบฟรานซิส

2) กังหันน้ำแบบใบพัดตายตัว (Fixed blade Propeller turbine)

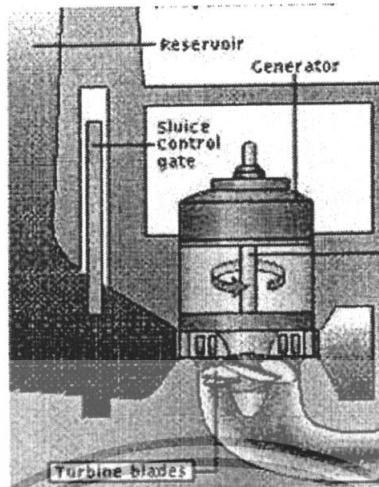
ประกอบด้วยใบพัดซึ่งคล้ายกับใบพัดของเรือ โดยใบพัดจะอยู่ในท่อน้ำ โดยปกติแล้วใบพัดจะมี 3-6 ใบ ที่รู้จักในชื่อกังหันแบบใบพัดตายตัว เนื่องจากมุม pitch ของใบพัดโรเตอร์ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ สำหรับราคาจะไม่แพงและมีประสิทธิภาพสูงที่ภาวะตามที่ออกแบบ แต่จะมีประสิทธิภาพแย่มากถ้าใช้งานที่อัตราไหลต่ำกว่านั้น



รูปที่ 3.12 แสดงตัวอย่างของกังหันน้ำแบบใบพัดตายตัว

3) กังหันน้ำคาปลาน (Kaplan turbine)

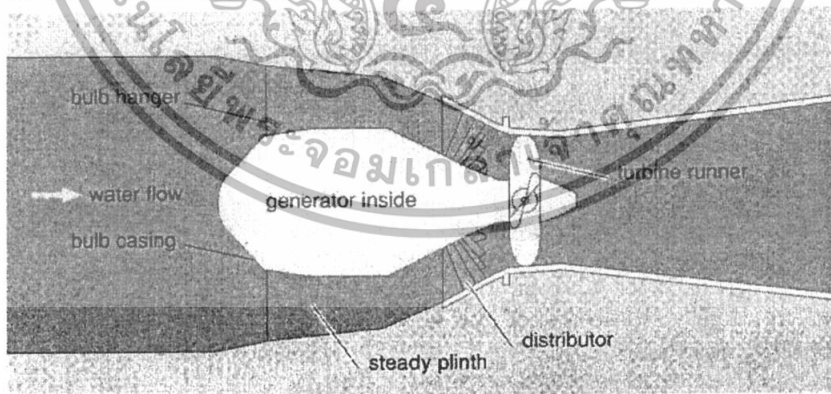
น้ำจะไหลผ่านใบพัดในทิศทางขนานกับแกนของกังหัน ใช้กับงานที่มีหัวน้ำต่ำ ใบพัดของกังหันคาปลานเป็นใบพัดที่สามารถปรับได้ตามมุมของซี่ใบพัดโดยอัตโนมัติตามแรงอัดหรือแรงฉุดแรงน้ำ โดยจะสัมพันธ์กับความแรงที่หัวฉุดน้ำซึ่งประกอบด้วยลูกเบี้ยว (Cam) ชุดควบคุมความเร็ว (Speed Governor) ช่องนำน้ำ (Guide Vane) และมุมของซี่ใบพัด (Runner Blade) ทำให้ได้ประสิทธิภาพสูงแม้ว่าทำงานที่สภาพภาวะต่ำ



รูปที่ 3.13 แสดงตัวอย่างของกังหันน้ำแบบคาปลาน

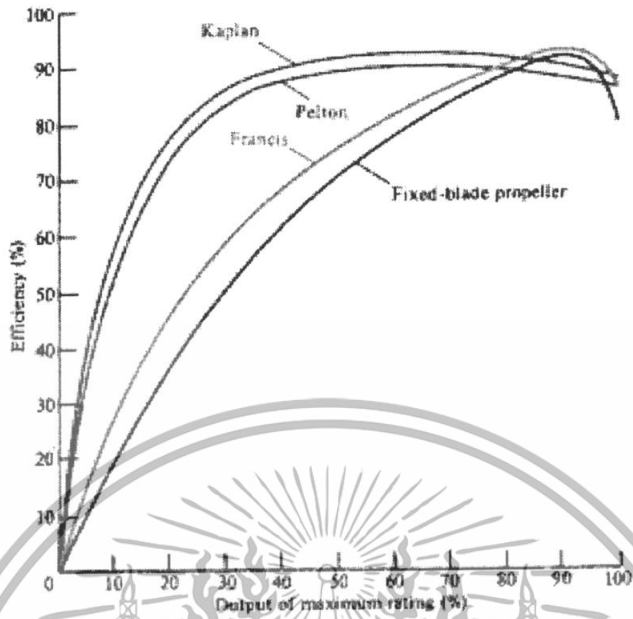
4) กังหันน้ำแบบกระเปาะ (Bulb turbine)

ถูกเรียกชื่อตามรูปร่างรูปทรงของสิ่งห่อหุ้มที่กั้นน้ำเข้า วางอยู่ทางต้นน้ำ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ถูกติดตั้งอยู่ภายในสิ่งห่อหุ้มและตั้งอยู่ในเส้นทางเดินของน้ำ เหมาะสำหรับระดับความสูงที่ต่ำ ในทางปฏิบัติแล้ว Bulb turbines สามารถใช้แทนกังหันน้ำแบบคาปลาน ในกรณีที่ระดับความสูงต่ำเนื่องจากการออกแบบทางเดินของน้ำที่ใกล้เคียงกัน โดยมีการปรับปรุงในเรื่องลักษณะการไหลของน้ำ ส่งผลให้ลดได้ทั้งขนาดและราคา สำหรับระดับความสูงที่ต่ำมาก ๆ ความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำเป็นต้องเพิ่มโดยใช้เกียร์



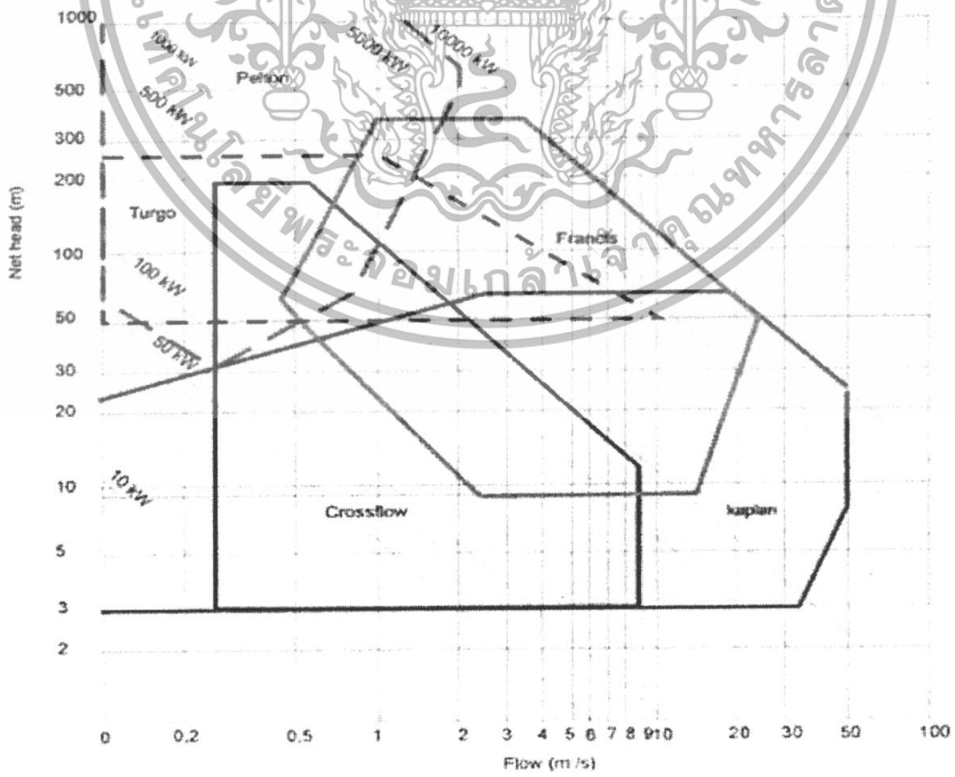
รูปที่ 3.14 แสดงตัวอย่างของ Bulb turbines

กราฟแสดงประสิทธิภาพการใช้งานของกังหันน้ำ



รูปที่ 3.15 แสดงประสิทธิภาพการแปลงพลังงานของกังหันน้ำ

กราฟแสดงพื้นที่การใช้งานของกังหันน้ำ



รูปที่ 3.16 กราฟแสดงพื้นที่การใช้งานของกังหันน้ำ

จากรูปที่ 3.16 จะแสดงพื้นที่ที่จะสามารถเลือกใช้กังหันแต่ละชนิดได้ โดยพิจารณา จากความสูงของหัวน้ำ, อัตราการไหลของน้ำ และกำลังงานที่สามารถผลิตออกมา

3.2.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator)

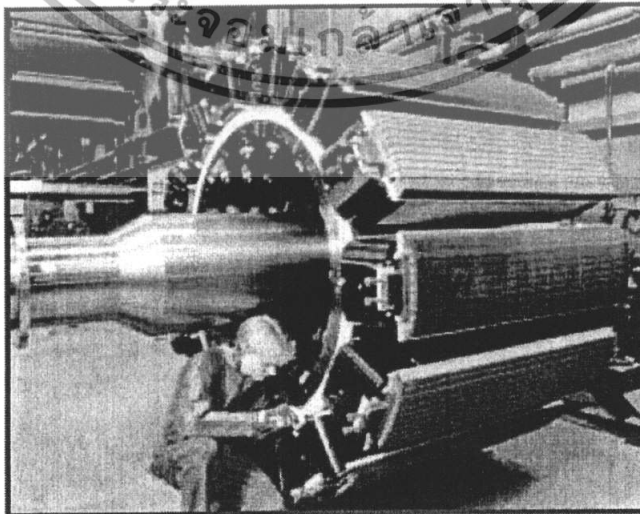
เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ที่ใช้ในโรงจักรไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก มีทั้ง Induction Generator และ Synchronous Generator ในส่วนของ Induction Generator รูปแบบที่ใช้ทั่วไปใหญ่เป็นประเภท Wound rotor induction generator ที่เป็นแบบ Doubly-fed induction generator และในส่วนของ Synchronous Generator รูปแบบที่ใช้กันส่วนใหญ่เป็น Salient pole synchronous generator ซึ่งในเรื่องของ Doubly-fed induction generator ได้อธิบายไปบ้างแล้วในเรื่องโรงจักรไฟฟ้าพลังงานลม ในที่นี้จะพูดถึงเหตุผลที่เลือกใช้โรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก และอธิบายถึง Salient pole synchronous generator

Doubly-fed induction generator

เหตุผลที่เลือกใช้ Doubly-fed induction generator ในโรงจักรไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กก็เพราะมีช่วงการทำงานที่กว้างขึ้น ในเรื่องของความเร็วที่สามารถแปรเปลี่ยนได้ 90-110% ของความเร็วซิงโครนัส ซึ่งจะสัมพันธ์กับค่ากำลังไฟฟ้าที่สามารถแปรเปลี่ยนได้ 70-130% ลักษณะดังกล่าวนี้เหมาะสำหรับใช้งานกับไหลที่มีความเปลี่ยนแปลง แต่อาจจะไม่ทำงานที่จุด optimal efficiency และยังสามารถควบคุมค่า P และ Q ของระบบ Grid ได้โดยเป็นอิสระต่อกัน

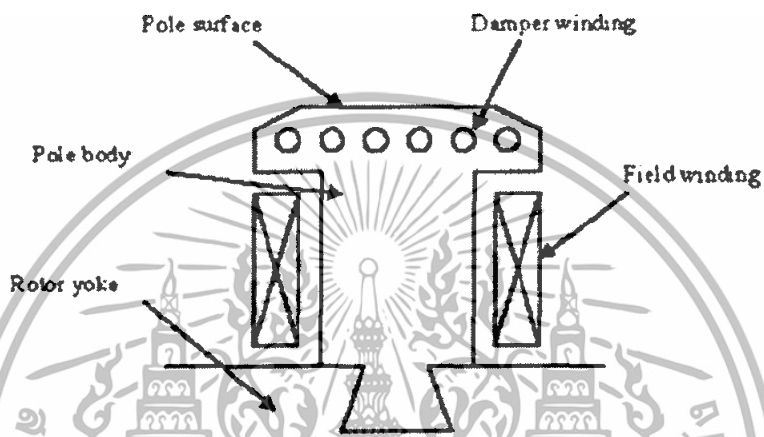
Salient pole synchronous generator

Salient pole synchronous generator เป็น synchronous generator ประเภทหนึ่งซึ่งรูปร่างของตัวโรเตอร์มีลักษณะเป็นซี่ยื่น



รูปที่ 3.17 แสดงโรเตอร์ที่เป็นลักษณะแบบซี่ยื่น

Salient pole synchronous generator จะถูกนำมาใช้เป็น low-speed alternating current (AC) generators สำหรับในโรงไฟฟ้าพลังน้ำ เนื่องจากกังหันน้ำมีความเร็วไม่มากนัก ซึ่งจะทำให้มีจำนวนขั้วที่มาก แต่ด้วยราคาที่แพงน้อยกว่า ทำให้โรงจักรไฟฟ้าพลังน้ำส่วนใหญ่เลือกใช้ประเภท Salient pole ในแบบความเร็วต่ำ นั้นจะมี diameter-to-length ratio ที่มีค่ามาก ส่วนของ field coils จะถูกพันอยู่ที่โรเตอร์ที่มีลักษณะเป็นขั้วยื่น นอกจากนี้ยังมี damper winding โดยทั่วไปแล้วจะฝังติดอยู่ที่ pole surface ซึ่งจะช่วยในเรื่องของการสตาร์ท และช่วยทำให้เครื่องจักรกลนั้นมีความเสถียรภาพมากขึ้น



รูปที่ 3.18 แสดงลักษณะโรเตอร์ที่มีลักษณะเป็นแบบขั้วยื่น (Salient pole)

3.2.3 การควบคุม (Control)

ในส่วนของกังหัน (Turbine) จะมี Governor มาใช้ในการควบคุมความเร็วของกังหันน้ำ Turbine Governor เป็นอุปกรณ์สำหรับควบคุมความเร็ว กำลังไฟฟ้าขาออก (Power output) ของตัวกังหัน เพื่อรักษาสมดุลของการเปลี่ยนแปลงระหว่างกำลังไฟฟ้า กับระบบ Grid load

Governor system สามารถเป็นได้ทั้ง mechanical-hydraulic, electro-hydraulic, digital-hydraulic

ระบบต่างๆเหล่านี้ไม่ว่าอย่างไรก็ตามล้วนต้องมี 3 ส่วนประกอบสำคัญ ดังนี้

1. Controller

เป็นหน่วยที่ใช้สำหรับควบคุมระบบน้ำ

2. Servo System

เป็น amplifier ซึ่งจะดำเนินการปล่อยน้ำ ช้า/เร็ว โดยถูกกำหนดโดยตัว

Controller

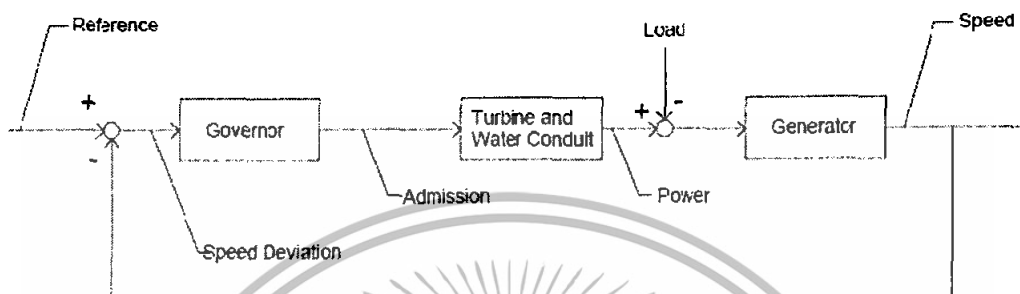
3. Pressure oil supply system

เป็นหน่วยแหล่งจ่ายน้ำมันไปให้กับ Servo System

จุดประสงค์ของ turbine governor คือ

1. เพื่อรักษา rotational speed ของตัว turbine-generator ให้มีความเสถียรในการทำงานที่โหลดใดๆ

2. รักษาการไหลของน้ำใน turbine conduit ในช่วงเวลาที่เกิดโหลดลดลง การปล่อยน้ำต้องหยุดชั่วคราวตามข้อจำกัดที่ยอมรับได้ของ the rotational speed rise of unit & the pressure rise in water conduit



รูปที่ 3.19 Governor function

รูปที่ 3.19 แสดงถึง function ของ governor

- สัญญาณอ้างอิงอินพุท จะเปรียบเทียบกับสัญญาณความเร็วที่ถูกป้อนกลับมา
- สำหรับการเปลี่ยนแปลงชั่วคราวระหว่างกำลังไฟฟ้าขาออกกับโหลด

ก่อให้เกิดความเร่งขึ้นในระบบ

- เอาท์พุทของกระบวนการนี้ คือ ความเร็ว ซึ่งต้องถูกนำมาเปรียบเทียบกับ

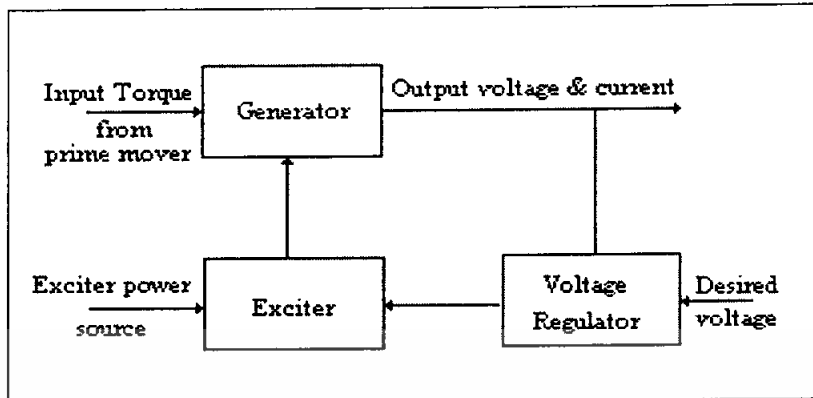
สัญญาณอ้างอิงอีกทีหนึ่ง

ในส่วน of เครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้น ถ้าเป็นในส่วน of Doubly-fed induction generator การควบคุม มมองในเรื่องของระบบขับเคลื่อน ระบบขับเคลื่อนที่ใช้จะเป็นแบบระบบขับเคลื่อนเซอร์เบียร์แบบสถิตแบบที่ 1 ที่ใช้ Cyclo converter ซึ่งได้กล่าวไปแล้วในขั้นต้น และในส่วน of Salient pole synchronous generator การควบคุมนั้นเป็นแบบ Excitation Control

Excitation Control เป็นการควบคุม field current ซึ่งจะเป็นการควบคุม field flux อีกทีหนึ่ง การควบคุม field current สามารถทำได้ด้วยมือ (manual) แต่ก็สามารถควบคุมแบบอัตโนมัติ (automatic) ได้โดยอาศัย Excitation Control System

Excitation Control System เป็นการควบคุมแบบป้อนกลับอัตโนมัติ จะทำการรักษาแรงดันที่ขั้วแรงดัน (Terminal voltage) โดยปรับ field current ของ synchronous generator การที่ไม่ได้ Excitation Control จะทำให้เกิดการแกว่งของแรงดันที่ขั้ว ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลง P_g หรือจากเหตุผลอื่นจากระบบภายนอก การควบคุมนั้นอาจกล่าวได้ว่าเป็นการควบคุมแบบ Negative feedback เนื่องจากถ้าขั้วแรงดันสูงขึ้น ค่า field current

จะต้องลดลง และถ้าชั่วแรงดันลดลง ค่า field current จะต้องสูงขึ้น บล็อกไดอะแกรมของ Excitation Control System แสดงได้ตามรูปข้างล่างนี้



รูปที่ 3.20 แสดงบล็อกไดอะแกรม ของ Excitation Control System

Excitation Control System มีส่วนประกอบหลักพื้นฐานอยู่ 3 ส่วน ดังนี้

- Exciter เป็นอุปกรณ์ป้อน field current ให้กับ synchronous generator
- Automatic Voltage Regulator เป็นตัวส่งผ่านชั่วแรงดันไปให้กับ Exciter
- Amplifier จะทำการเพิ่มกำลังสัญญาณ เพื่อส่งเข้าไปที่ Exciter ถ้า Amplifier

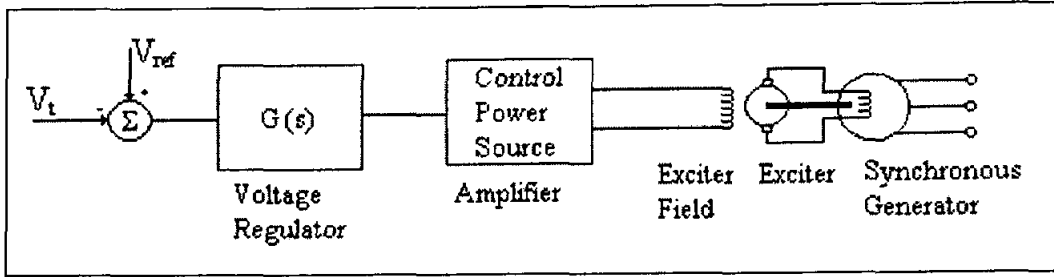
เป็นแบบ electromechanical จะถูกเรียกว่า Pilot Exciter หรือ Rotating Exciter แต่ถ้าเป็น Solid state จะถูกพิจารณาว่าเป็นส่วนหนึ่งของ Automatic Voltage Regulator

Excitation Control System โดยทั่วไปมีการควบคุม 3 ประเภท ดังนี้

1. rotating DC commutator
2. rotating AC alternator
3. static

Rotating DC commutator

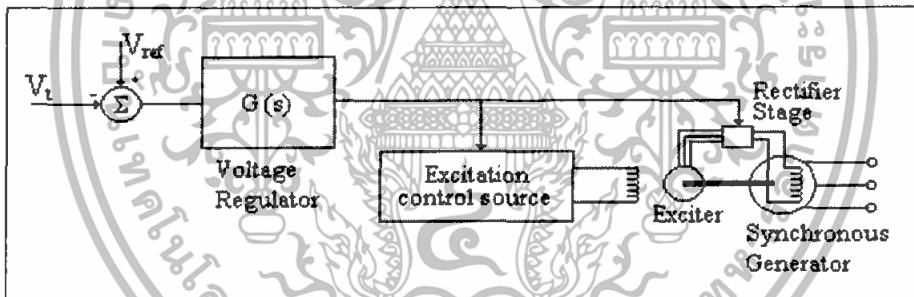
จะใช้ DC Generator ทำงานโดยต่ออยู่กับเพลลาของ synchronous generator เพื่อที่จะป้อน field current ให้กับ synchronous generator ในรูปแบบนี้อาจพบได้ยากแล้ว เพราะเนื่องจากการตอบสนองที่ช้า และต้องการการบำรุงรักษาที่สูงในเรื่องของสลีปริงและแปรงถ่าน ที่เป็นที่จะส่งผ่านการกระตุ้นไปยัง field winding



รูปที่ 3.21 แสดงการควบคุมแบบ Rotating DC commutator

Rotating AC alternator

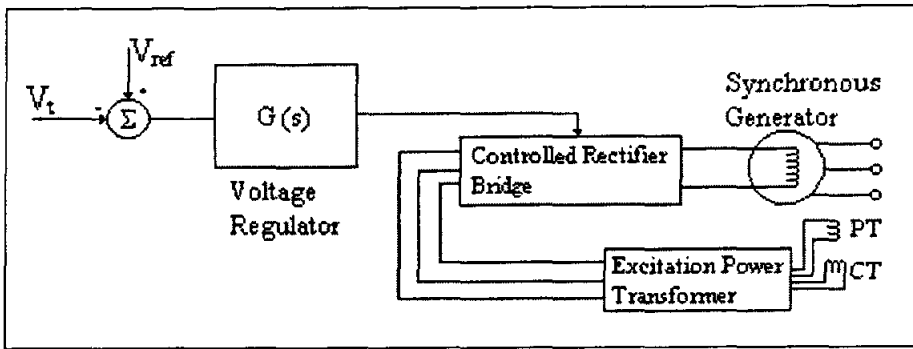
จะใช้ AC Alternator กับ AC-DC Rectification เพื่อจ่าย field current ให้กับ synchronous generator ข้อดีที่เห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับก่อนหน้านี้คือ ไม่ใช่แปรงถ่านจะใช้เพียงสลลิปริงในการเชื่อมต่อ Exciter กับ field winding จริงๆแล้วอาจไม่ต้องใช้สลลิปริงก็ได้ เพราะ Alternator บางตัวนั้น มี field winding อยู่ทางด้านสเตเตอร์ ส่วนวงจรวัดจันนั้นจะใช้ไทรสเตอร์หรือ SCR ซึ่งแตกต่างไปจากไดโอดเพราะสามารถควบคุมโดยใช้สัญญาณได้



รูปที่ 3.22 แสดงการควบคุมแบบ Rotating AC alternator

Static

ประกอบไปด้วย Solid state ทั้งหมด ไม่มีอุปกรณ์ตัวไหนที่หมุน power sourceที่ใช้เป็น CT และ PT ไฟฟ้า 3 เฟส จะถูกแปลงเป็น DC โดยตัว Rectifier และป้อนเข้าสู่ synchronous generator โดยผ่านสลลิปริงและแปรงถ่านแบบ static นั้นจะถูกกว่าแบบ AC Alternator แต่ยังคงต้องการการบำรุงรักษาสลลิปริงและแปรงถ่านอยู่



รูปที่ 3.23 แสดงการควบคุมแบบ static

3.2.4 ด้านเศรษฐศาสตร์ (Economic)

Cost component แบ่งออกเป็น

- เงินลงทุน (Investment cost)
- การดำเนินการและการบำรุงรักษา (O & M)
- ภาษี (Taxes)

3.2.4.1 เงินลงทุน นับว่าเป็นค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่ องค์ประกอบที่สำคัญมีดังนี้

- TG & Control costs ขึ้นอยู่กับประเภท, การไหลและหัวน้ำ โดยทั่วไปราคาอยู่ในช่วง \$300/kW-\$600/kW

- Water conveying system costs ขึ้นอยู่กับประเภท, การไหล, ความยาว และสภาพภูมิประเทศ

- Transmission line costs โดยทั่วไปมีราคาอยู่ประมาณ \$70,000/km แต่ก็อาจเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศและยากง่ายของการเข้าถึง

- ส่วนประกอบหลักอื่นๆ ประกอบด้วย weir, intake, tailrace, powerhouse, substation, site work and road access

- Engineering costs ขึ้นอยู่กับขนาดและความซับซ้อนของแต่ละโปรเจกต์

- Interest costs จะเพิ่มขึ้นตามเงินที่กู้มา โดยทั่วไปแล้วมีค่าอยู่ระหว่าง 6%-10% ของเงินทุน

3.4.4.2 การดำเนินการและการบำรุงรักษา (O & M)

- ต้องการคนควบคุมการทำงานของโรงจักรหนึ่งหรือสองคน โดยทั่วไปมีค่าใช้จ่ายประมาณ \$50,000 - \$80,000/year

- Annual maintenance costs โดยทั่วไปมีค่าประมาณ 0.5-1% ของเงินทุนทั้งหมดต่อปี

- Additional maintenance costs อาจทำเพื่อปรับปรุง บำรุงสาย power line โดยทั่วไปมีค่าประมาณ 3-5% ของเงินทุนของ power line ต่อปี
- Annual insurance costs มีค่าประมาณ 0.25 -1% ของเงินทุนทั้งหมด
- General/Administration costs มีค่าอยู่ในช่วง 0-20% ของเงินในส่วน O&M ทั้งหมด

3.2.4.3 ภาษี

- Land lease rates โดยทั่วไปมีค่าเพิ่มสูงถึง \$2,000/year
 - Annual property taxes โดยทั่วไปจะมีค่า 0.5%-1.5% ของเงินทุนทั้งหมด แต่อาจเปลี่ยนแปลงได้ตามสถานที่
 - Annual water license fees มีค่าประมาณ \$3,450/MW ของขนาดโรงจักรบวกกับ \$1,036/GWh ของพลังงานที่ผลิตได้
- ปัจจุบันค่าพลังงานไฟฟ้าอยู่ที่ประมาณ \$0.05 - \$0.06/kWh โดยทั่วไปแล้ว SHP Project ต้องใช้เงินทุนไม่เกิน \$2,000/kWh จึงถือว่าคุ้มค่าอยู่ ถ้าค่าเงินทุนที่ใช้มีค่ามากขึ้น ก็ส่งผลถึงค่าพลังงานไฟฟ้าให้มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดต่างๆของราคาเงินลงทุน (ล้านเหรียญสหรัฐ)

Cost Item	Approximate Range	4.5 MW Project	6.0 MW Project	8.0 MW Project	27.0 MW Project
Head	30 - 500 m	510 m	30 m	460 m	45 m
Design Flow	1 - 100 m ³ /s	1.1 m ³ /s	26.5 m ³ /s	2.1 m ³ /s	75.0 m ³ /s
	% of Total				
Weir / Intake(s)	2 - 5%	0.4	0.5	0.5	0.7
Water Conveying System	10 - 30%	2.3	3.6	3.3	4.2
Turbine Generator and Controls	20 - 30%	2.2	4.3	3.5	9.5
Power House & Tail Race	5 - 10%	0.5	0.6	0.6	3.6
Substation	2 - 4%	0.3	0.4	0.4	1.1
Access Roads	0 - 5%	0.0	0.5	0.1	0.2
Powerlines	5 - 15%	0.4 (5 km)	0.7 (10 km)	1.1 (15 km)	4.2 (60 km)
BC Hydro Interconnection	3 - 8%	0.7	0.7	0.8	1.0
Contingency	5 - 15%	1.0	1.7	1.5	3.7
Development & Owner's Costs	2 - 5%	0.4	0.5	0.5	0.9
Permitting and Licensing	5 - 10%	1.0	1.1	1.2	1.3
Engineering	5 - 10%	0.8	1.3	1.2	2.8
Interest During Construction	5 - 10%	0.8	1.3	1.2	2.7
Total Capital Cost		10.8	17.2	15.9	35.8
Specific Capital Cost		\$2,400/kW	\$2,860/kW	\$1,990/kW	\$1,330/kW

ตารางที่ 3.2 แสดงรายละเอียดของราคาทั้งหมด

Project Summary	4.5 MW High Head	6.0 MW Low Head	8.0 MW High Head	27.0 MW Low Head
Capacity Factor	65%	60%	60%	50%
Head	510 m	30 m	460 m	45 m
Design Flow	1.1 m ³ /s	26.5 m ³ /s	2.1 m ³ /s	75.0 m ³ /s
Total Energy Sales	25.6 GWh/yr	31.5 GWh/yr	42.0 GWh/yr	118.3 GWh/yr
Powerline Cost	\$ 400,000	\$ 700,000	\$ 1,100,000	\$ 4,200,000
Total Capital Cost	\$ 10,821,600	\$ 17,166,600	\$ 15,907,860	\$ 35,847,900
Annual Taxes & License Fees				
Land Lease	\$1,000	\$1,000	\$1,000	\$2,000
Property Taxes	\$108,000	\$172,000	\$159,000	\$358,000
Water License	\$42,000	\$53,000	\$71,000	\$216,000
Contingency	\$23,000	\$34,000	\$35,000	\$86,000
Total Annual Taxes	\$174,000	\$260,000	\$266,000	\$662,000
Annual O & M Expenses				
Powerline Maint.	\$20,000	\$35,000	\$55,000	\$126,000
T/G Maint.	\$65,000	\$103,000	\$95,000	\$215,000
Operating Labour	\$70,000	\$70,000	\$70,000	\$140,000
Insurance Premiums	\$43,000	\$69,000	\$64,000	\$143,000
General & Admin	\$20,000	\$28,000	\$28,000	\$62,000
Contingency	\$33,000	\$46,000	\$47,000	\$103,000
Total Annual O&M Costs	\$251,000	\$351,000	\$359,000	\$789,000
Annual Debt Payments	\$811,000	\$1,287,000	\$1,192,000	\$2,687,000
Total Annual Expenditures	\$1,236,000	\$1,898,000	\$1,817,000	\$4,138,000
Break Even Power Sales Price	\$0.048/kWh	\$0.060/kWh	\$0.043/kWh	\$0.035/kWh
Price for 20% ROE (Before tax)	\$0.065/kWh	\$0.081/kWh	\$0.058/kWh	\$0.047/kWh

ที่มา : หนังสือ Small Hydro Generation Building Block Profile (2003)

3.3 โรงจักรไฟฟ้าชีวมวล

3.3.1 ตัวต้นกำลัง (Prime mover)

การผลิตพลังงานร่วม (Cogeneration) หมายถึง การใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานหรือเชื้อเพลิงเพียงแหล่งเดียว เพื่อการผลิตพลังงานที่แตกต่างกัน 2 ชนิด พลังงานที่ผลิตมักถูกผลิตร่วมกันโดยมากจะอยู่ในรูปการผลิตไฟฟ้าหรือพลังงานกลกับความร้อน โดยความร้อนที่ได้จากการผลิตพลังงานร่วมนี้ อาจอยู่ในรูปของไอน้ำ ของเหลวร้อน หรือก๊าซร้อน สามารถจำแนกตามลำดับก่อน-หลังของการผลิตไฟฟ้าและความร้อนออกได้เป็น 2 แบบ คือ การผลิตกำลังไฟฟ้านำหน้า (Topping Cycle) และการผลิตไฟฟ้าตามหลัง (Bottoming Cycle)

ในบทความนี้จะให้ความสำคัญกับระบบการผลิตร่วม (Cogeneration System) เนื่องจากระบบการผลิตร่วมนี้จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบแยกผลิต (Conventional system) กล่าวคือการผลิตไฟฟ้าจากกังหันไอน้ำส่วนใหญ่จะมีประสิทธิภาพรวมต่ำมาก ของค่าพลังงานจากเชื้อเพลิง พลังงานที่เหลือส่วนใหญ่จะสูญเสียไปในรูปของความร้อน เนื่องจากปริมาณความ

ร้อนในส่วนนี้มีค่ามาก แต่มีระดับอุณหภูมิต่ำเกินกว่าที่จะผลิตไฟฟ้าได้อีก แต่ถ้าในระบบการผลิตร่วมนั้น จะให้ประสิทธิภาพสูงถึง 75 - 90% เลยทีเดียวดัง รูปที่ 3.24 และข้อดีของระบบการผลิตร่วมนั้นยังมีอีกดังนี้

ข้อดีสำหรับผู้ซื้อ

- ลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน
- กำไรเพิ่มจากการขายไฟฟ้าส่วนเกิน
- กำไรเพิ่มจากการขาย by – products เช่น ชี๊ไถ้จากแกลบ
- เพิ่มความมั่นคงจากแหล่งพลังงาน

ข้อดีสำหรับการไฟฟ้า

- ประหยัดในพลังงาน
- ลดการสูญเสียในสายส่ง
- ลดการลงทุนในการสร้างโรงไฟฟ้าใหม่ๆ
- ลดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม
- ก่อให้เกิดตลาดใหม่ๆ สำหรับผู้ผลิต ผู้จัดจำหน่าย

ในระบบการผลิตร่วมจะมีข้อเสียน้อยมากเมื่อเทียบกับข้อดีตรงที่การควบคุมบังคับที่ต้องเพิ่มระบบ ในการควบคุมทั้งไฟฟ้าและความร้อนที่ซับซ้อนกว่าเมื่อเทียบกับระบบแยกผลิต

Separate Production of Electricity and Heat			
Fuel 100	Power Plant	Electricity 36	Total efficiency: $\eta = \frac{36 + 80}{200} = 0.58$
Fuel 100	Boiler	Heat 80	
Cogeneration			
Fuel 100	Cogeneration System	Electricity 30 Heat 55	Total efficiency: $\eta = \frac{30 + 55}{100} = 0.85$

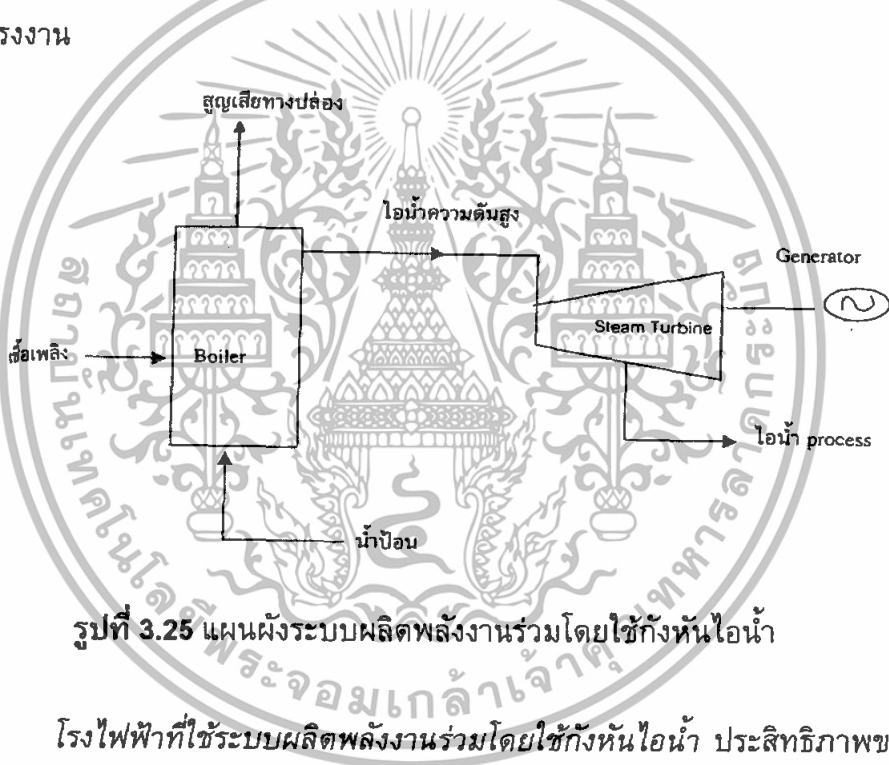
รูปที่ 3.24 แผนภาพแสดงประสิทธิภาพของระบบการผลิตแยกและระบบการผลิตร่วม

ระบบการผลิตพลังงานร่วม ในปัจจุบันระบบที่ได้รับความนิยมใช้โดยทั่วไปคือระบบผลิตกำลังไฟฟ้านำหน้า เพราะอุตสาหกรรมทั่วไปใช้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิที่ไม่สูงมากนัก ประกอบกับระบบผลิตพลังงานร่วมชนิดนี้มักให้ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ดีกว่า และอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในระบบนี้ได้รับการพัฒนามาแล้วเป็นอย่างดี ดังนั้นจึงจะขอกกล่าวถึงรูปแบบ

ของ ระบบการผลิตพลังงานร่วมชนิดผลิตกำลังไฟฟ้านำหน้า สามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภท คือ ระบบผลิตพลังงานร่วมโดยใช้กังหันไอน้ำ (Steam turbine Cogeneration) ระบบผลิตพลังงานร่วมโดยใช้กังหันก๊าซ (Gas Turbine Cogeneration) และระบบผลิตพลังงานร่วมโดยใช้เครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engine Cogeneration)

3.3.1.1 ระบบผลิตพลังงานร่วมโดยใช้กังหันไอน้ำ (Steam turbine Cogeneration)

ระบบผลิตพลังงานร่วมโดยใช้กังหันไอน้ำแสดงในรูปที่ 3.25 ประกอบด้วยหม้อไอน้ำสำหรับผลิตไอน้ำความดันสูง และกังหันไอน้ำแบบ Back Pressure หรือ Condensing Extraction เพื่อผลิตงานเพลานำไปใช้หมุนเครื่องปั่นไฟ หลักการทำงานของระบบคือ ไอน้ำความดันสูงจะขยายตัวผ่านกังหันไอน้ำเพื่อผลิตงานเพลานำไปขับเคลื่อนกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตไฟฟ้า ไอน้ำที่ออกจากกังหันไอน้ำเป็นไอน้ำความดันต่ำพอที่จะนำไปใช้ในกระบวนการต่างๆของโรงงาน



รูปที่ 3.25 แผนผังระบบผลิตพลังงานร่วมโดยใช้กังหันไอน้ำ

โรงไฟฟ้าที่ใช้ระบบผลิตพลังงานร่วมโดยใช้กังหันไอน้ำ ประสิทธิภาพของระบบอาจสูงถึง 85% โดยมีหลักเกณฑ์นี้

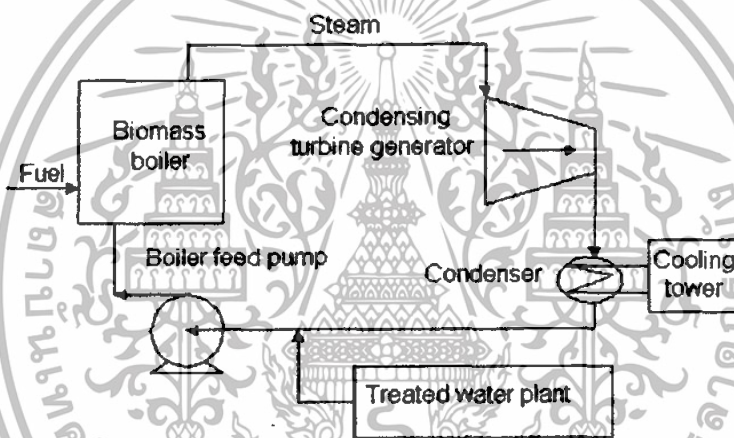
- ควรมีการใช้โหลดทางไฟฟ้ามากกว่า 250 kW_e
- โรงไฟฟ้าชนิดนี้ต้องการไอน้ำความดันสูง เพราะจะเป็นผลทำให้ประสิทธิภาพการผลิตสูงด้วย
- เชื้อเพลิงที่ใช้ต้องราคาถูก หาได้ง่ายและมีเพียงพอต่อความต้องการของโรงไฟฟ้าด้วย
- ระบบต้องมีการกำจัดของเสียที่ดี เนื่องจากการใช้ก๊าซชีววมลจะมีมลภาวะสูง
- หม้อไอน้ำ (Boiler) ที่ใช้ต้องมีคุณภาพสูง

โรงไฟฟ้าชนิดนี้ นอกจากจะมีประสิทธิภาพการผลิตสูงแล้วยังมีข้อได้เปรียบที่สำคัญคือ สามารถใช้เชื้อเพลิงแข็งได้หลากหลายชนิดเนื่องจากหม้อไอน้ำไม่มีข้อจำกัดด้านเชื้อเพลิง เช่นจำพวก ถ่านหิน ลิกไนต์ ชานอ้อย ชยะ เป็นต้น มีอัตราส่วนความร้อนต่อไฟฟ้าสูงกว่าระบบการผลิตร่วมแบบอื่น เป็นเทคโนโลยีที่ดี มั่นคง มีความยืดหยุ่นทางขนาดของโรงไฟฟ้า

แต่มีข้อเสียตรงที่มีค่าใช้จ่ายในการทำงานสูง จำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงด้านมลภาวะที่จะเกิดขึ้นด้วย ระยะเวลาก่อสร้างนานกว่าเมื่อเทียบกับแบบอื่น ใช้งานในโหลดต่ำไม่ดี และการสร้างโรงขนาดเล็กก็ไม่คุ้มต้นทุนด้วย

ระบบผลิตพลังงานร่วมโดยใช้กังหันไอน้ำ สามารถจำแนกได้ 2 ประเภท ตามชนิดของกังหันไอน้ำแบบ Condensing Extraction หรือแบบ Back Pressure

- Condensing Extraction Turbine

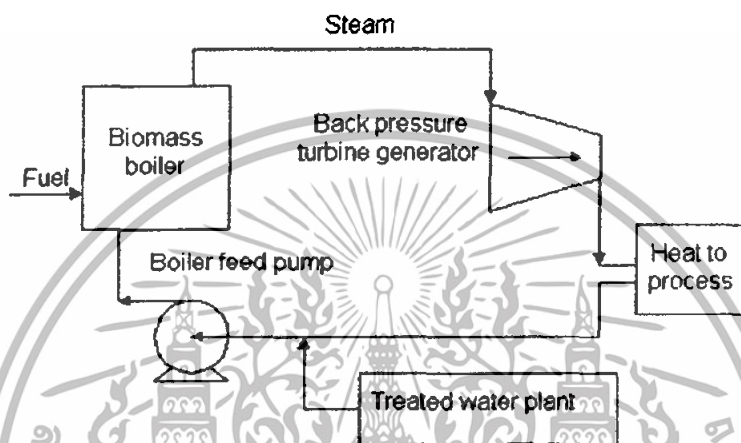


รูปที่ 3.26 กังหันไอน้ำแบบ Condensing Extraction Turbine

การทำงานเริ่มจากนำน้ำดิบมาบำบัดให้ได้คุณภาพตามที่กำหนด จากนั้นใช้ปั๊มน้ำ (Boiler feed pump) ส่งน้ำที่บำบัดแล้วเข้าในหม้อผลิตไอน้ำ (Boiler) ซึ่งจะถูกทำให้ร้อนโดยเชื้อเพลิงชีวมวล น้ำที่ร้อนจะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำ ผ่านไปยังกังหันไอน้ำ (Condensing turbine) เพื่อให้เกิดการหมุน ได้กระแสไฟฟ้า ในส่วนของไอน้ำที่ออกจากกังหันไอน้ำจะมีความดันต่ำมากและยังคงมีสภาพเป็นไอน้ำ ต้องทำให้กลับคืนเป็นน้ำ โดยผ่านเครื่องควบแน่น (Condenser) และหอระบายความร้อน (Cooling tower) จากนั้นน้ำดังกล่าวจะถูกปั๊มกลับเข้าในหม้อผลิตไอน้ำอีกครั้ง หมุนเวียนเช่นนี้เรื่อยไป Condensing Extraction มีลักษณะที่แตกต่างไปจาก Back Pressure Turbine คือ ใน Condensing Extraction Turbine นั้น จะมีไอน้ำบางส่วนถูกปล่อยออกมาในช่วงกลางของกังหัน ไอน้ำที่ปล่อยออกมาระหว่างกลางนี้จะมีความดันให้เลือกหลายขนาด ซึ่งอาจเลือกใช้ให้เหมาะสมกับจุดใดจุดหนึ่งของกระบวนการผลิตได้ ส่วนไอน้ำที่เหลือจึงออกจากกังหันไอน้ำ จะถูกปล่อยให้ขยายตัวผ่านกังหันจนมีความดันต่ำ ไอน้ำที่มี

ความดันต่ำเหล่านี้ยังสามารถนำไปใช้กับจุดต่างๆในขบวนการที่ต้องการไอที่ความดันต่ำได้อีกด้วย จึงทำให้กังหันแบบ Condensing Extraction นี้มีราคาสูงกว่ากังหันแบบ Back Pressure และ ประสิทธิภาพของระบบก็ลดลงด้วย เพราะความร้อนที่ผ่าน Condenser จะเย็นตัวและถูกกำจัดไปในบรรยากาศ โดยมีประสิทธิภาพของระบบ เท่ากับ 60 – 80 %

- Back Pressure Turbine



รูปที่ 3.27 กังหันไอน้ำแบบ Back Pressure Turbine

ต่างจากระบบแรกเล็กน้อย กล่าวคือ ไม่มีเครื่องควบแน่นและหอระบายความร้อน และไอน้ำที่ออกจากกังหันไอน้ำจะมีความดันสูงเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการผลิต

Back Pressure Turbine เป็นเครื่องต้นกำลังที่ใช้กันมาตั้งแต่สมัยโบราณ และปัจจุบันนิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง หลักการของ Back Pressure Steam Turbine คือ เชื้อเพลิงจะถูกเผาไหม้ในหม้อน้ำ เพื่อผลิตไอน้ำที่ความดันสูง (อาจสูงถึง 100 บาร์) แล้วปล่อยไอน้ำนั้นขยายตัวผ่านเครื่องกังหันไอน้ำ กังหันไอน้ำจะหมุนขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ไอน้ำที่ขยายตัวผ่านกังหันไอน้ำจะถูกปล่อยออกจากตัวกังหัน และมีความดันเหลือจำนวนมาก โดยมีประมาณ 3 ถึง 20 บาร์ ไอน้ำนั้นถูกใช้ให้พลังงานความร้อนในกระบวนการต่างๆของโรงงานต่อไป

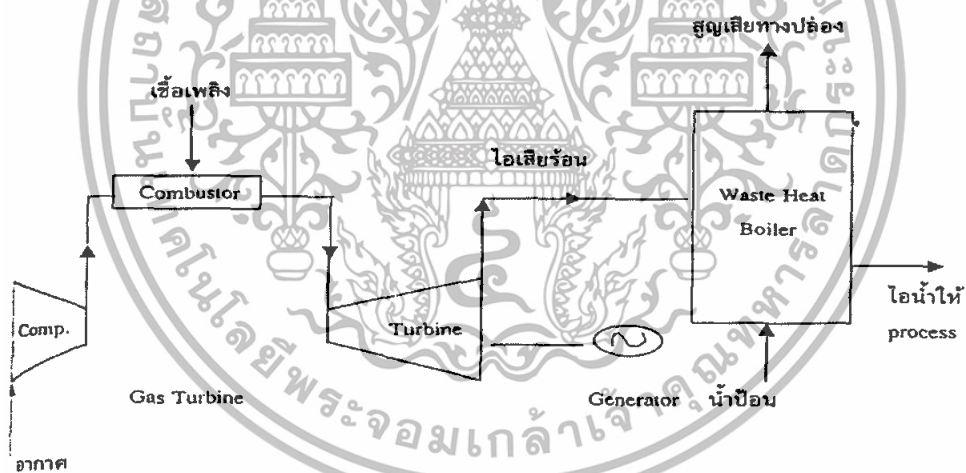
เทคโนโลยีนี้เหมาะสำหรับโรงงานหรือกิจการที่ต้องใช้ไอน้ำจำนวนมากในกระบวนการผลิต เช่น โรงงานผลิตน้ำตาล และโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เป็นต้น ดังนั้นต้องคำนวณปริมาณไอน้ำที่ต้องการและไฟฟ้าที่ใช้ให้สัมพันธ์กัน ประสิทธิภาพของระบบสูงกว่ากังหันไอน้ำแบบ Condensing Extraction ซึ่งประสิทธิภาพนั้นจะขึ้นกับความสามารถนำพลังงานความร้อนใช้ในกระบวนการผลิตมากน้อยแค่ไหน โดยประสิทธิภาพของระบบอยู่ที่ 84 – 92%

แต่เนื่องจากในอุตสาหกรรมในประเทศไทยส่วนใหญ่จะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบผลิตพลังงานร่วมค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับระบบการผลิตไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว ฉะนั้นการผลิตพลังงานร่วมแบบ Back Pressure จึงเป็นที่นิยมใช้กันในประเทศไทย

3.3.1.2 ระบบผลิตพลังงานร่วมโดยใช้กังหันก๊าซ (Gas Turbine Cogeneration)

ส่วนประกอบของระบบผลิตพลังงานร่วมโดยใช้กังหันก๊าซแสดงในภาพที่ 3.28 หลักการทำงานของระบบ คือ อากาศจะถูกดูดเข้าไปยังเครื่องอัดอากาศ เพื่อเพิ่มความดันให้สูงก่อนผ่านเข้าห้องเผาไหม้ เชื้อเพลิงจะถูกฉีดเข้ามาผสมที่ห้องเผาไหม้ และเกิดการเผาไหม้ได้ก๊าซร้อน ก๊าซร้อนนี้จะขยายตัวผ่านเครื่องกังหันก๊าซทำให้กังหันหมุนได้งานเพลลา โดยระบบผลิตพลังงานร่วมโดยใช้กังหันก๊าซ มีหลักเกณฑ์การติดตั้งดังนี้

- โรงไฟฟ้านั้นมีความต้องการกำลังที่ต่อเนื่องและมากกว่า 1 MW_e
- มีแก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงมากเพียงพอ
- ระบบการผลิตมีความต้องการความดันที่มีค่าปานกลางจนถึงสูงและอุณหภูมิสูงมากกว่า 140 °C



รูปที่ 3.28 แผนผังระบบผลิตพลังงานร่วมโดยใช้กังหันก๊าซ

ตามปกติ 3/4 ของงานเพลลาที่กังหันก๊าซผลิตได้จะถูกส่งไปขับเครื่องอัดอากาศ ส่วนที่เหลือจึงจะเป็นงานเพลลาสุทธิที่ใช้ขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ไอเสียจากระบบที่มีอุณหภูมิประมาณ 450 - 550 °C จะถูกผ่านเข้าไปใน Waste Heat Boiler ใช้ผลิตไอน้ำหรือน้ำร้อนเพื่อใช้ในกระบวนการผลิต โดยทั่วไปอัตราส่วนความต้องการความร้อนต่อไฟฟ้าของระบบจะมีค่าอยู่ระหว่าง 2 - 5 แต่ถ้าใช้อุปกรณ์เสริมบางอย่าง เช่น Supplement Firing System จะช่วยเพิ่มปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ หรือระบบ Water/System Injection จะช่วยเพิ่มพลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ หรือระบบ By-Pass Valve เพื่อระบายไอเสียบางส่วนทิ้งในกรณีที่ต้องการลดปริมาณไอ

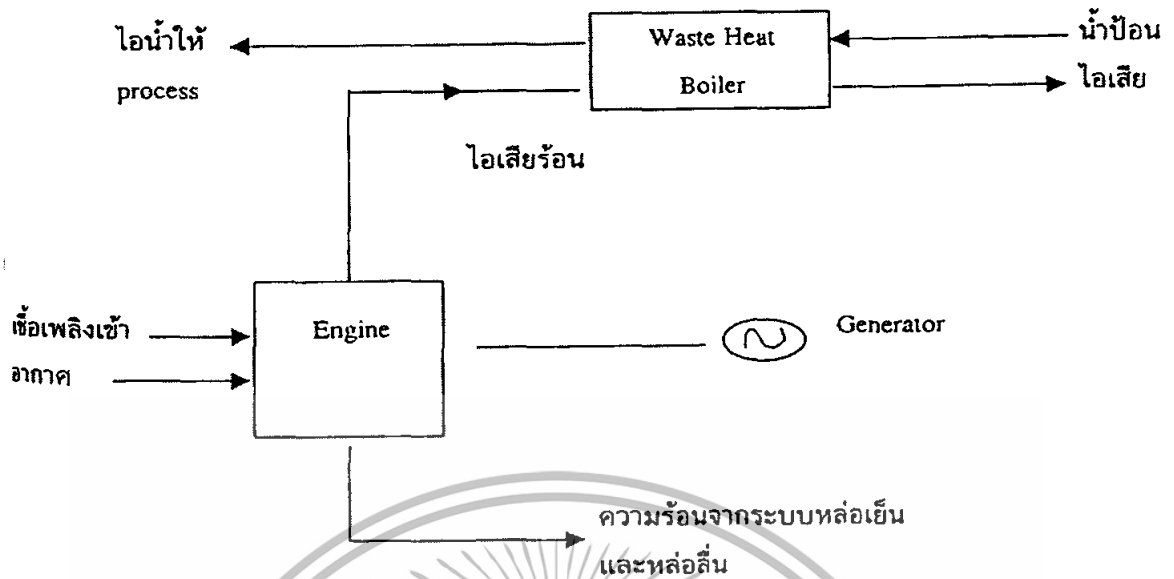
น้ำที่ผลิตได้ ดังนั้นจะทำให้สามารถเดินเครื่องทำงานที่ค่าอัตราส่วนความต้องการความร้อนต่อไฟฟ้ากว้างขวางมากขึ้น ซึ่งเป็นประโยชน์มากโดยเฉพาะในช่วงความต้องการสูงสุด (Peak Load) แม้ว่าค่าประสิทธิภาพโดยรวมของระบบจะลดลงไปบ้าง แต่ระบบก็มีความน่าเชื่อถือสูง

คุณลักษณะของโรงไฟฟ้าชนิดนี้ คือจะมีเวลาที่ใช้เริ่มเดินเครื่องสั้น มีการบำรุงรักษาง่ายการใช้กับเชื้อเพลิงจำกัดพวกก๊าซธรรมชาติ, ปิโตรเลียมและน้ำมันได้ แต่เนื่องจากก๊าซร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้จะต้องผ่านเข้าไปในตัวกังหันก๊าซ ดังนั้นเชื้อเพลิงที่จะใช้ต้องเป็นเชื้อเพลิงที่สะอาด ทั้งนี้เพื่อแก้ปัญหาข้อจำกัดดังกล่าว จึงได้มีการศึกษาถึงการใช้อย่าง Indirectly Fired Turbine ซึ่งในระบบนี้ก๊าซร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้จะไม่ผ่านเข้าตัวกังหันโดยตรง แต่จะถ่ายความร้อนให้กับอากาศที่เข้าไปในตัวกังหันอีกต่อหนึ่ง

สำหรับระบบที่มีขนาดตั้งแต่ 3.5 MW ขึ้นไปจะมีความได้เปรียบระบบอื่นอยู่หลายประการ เช่น ราคาติดตั้งต่อกิโลวัตต์ถูกกว่าสั่งซื้อและติดตั้งได้เร็วกว่าไม่ต้องใช้น้ำหล่อเย็น อีกทั้งค่าประสิทธิภาพโดยรวมของระบบจัดได้ว่าทัดเทียมกับกับระบบผลิตพลังงานร่วมโดยใช้กังหันไอน้ำที่กล่าวมาแล้ว ขนาดของระบบที่ผลิตขายโดยทั่วไปมักจะเริ่มตั้งแต่ 1 MW ขึ้นไป โดยมีราคาติดตั้งเฉลี่ยประมาณ 1 ล้าน USD ต่อ 1 MW สำหรับเครื่องขนาดเล็กราคาจะแพงขึ้นและในทางตรงกันข้าม ถ้าขนาดใหญ่ๆ ราคาต่อ MW ก็จะถูกลงแต่ระบบนี้จะมีข้อเสีย คือจะมีประสิทธิภาพต่ำที่โหลดต่ำ ค่าดูแลรักษาสูง

3.3.1.3 ระบบผลิตพลังงานร่วมโดยใช้เครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engine Cogeneration)

ระบบนี้มีทั้งชนิดที่เป็น *Compression Ignition (C.I)* และ *Spark-Ignition (S.I) Engines* ชนิดที่เป็น S.I มักจะใช้แก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งต่างจากชนิด C.I เน้นการใช้ที่น้ำมันเตาเป็นหลักเนื่องจากราคาถูก ความเร็วรอบของการทำงานมีตั้งแต่ 1000 จนถึง 500 รอบต่อนาที และต่ำกว่า นอกจากตัวเครื่องยนต์แล้วระบบยังประกอบด้วย ระบบน้ำหล่อเย็น เสื้อสูบ และน้ำมันหล่อลื่น กับ Waste Heat Boiler ที่ใช้แปลงพลังงานในไอเสียให้เป็นไอน้ำหรือน้ำร้อนไปใช้ในกระบวนการได้ ดังที่แสดงในแผนภาพในรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29 แผนผังระบบผลิตพลังงานโดยใช้เครื่องยนต์สันดาปภายใน

ระบบผลิตพลังงานรวมโดยใช้เครื่องยนต์สันดาปภายใน มีหลักเกณฑ์ในการ

ติดตั้งดังนี้

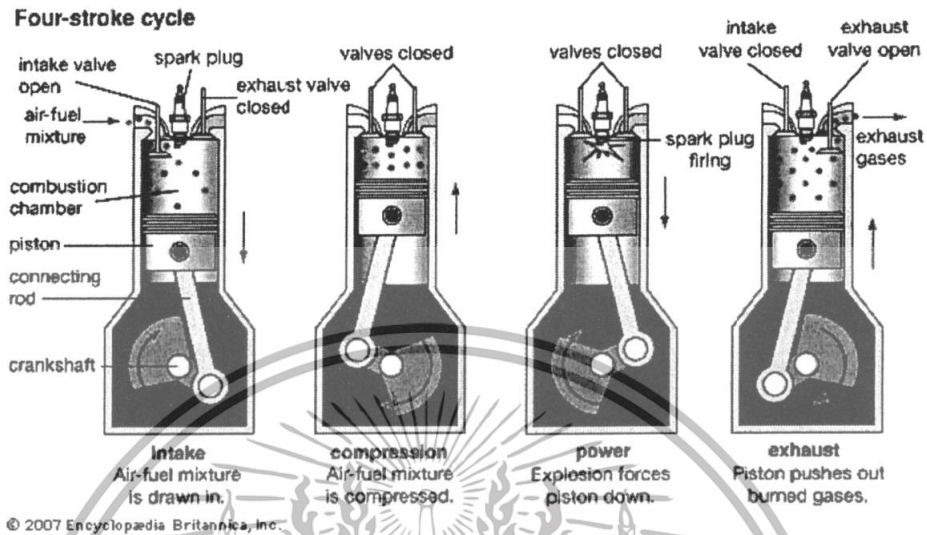
- การทำงานของระบบจะเป็นไปในรูปแบบวัฏจักร
- โรงไฟฟ้าชนิดนี้ต้องการความดันไอน้ำที่ต่ำจนถึงปานกลางและอุณหภูมิของน้ำต้องต่ำด้วย
- ควรมีค่าอัตราส่วนพลังงานต่อความร้อน (heat to power ratio) ต่ำด้วย

พลังงานความร้อนที่ปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์สันดาปภายในมี 2 ลักษณะ คือ

1. อยู่ในรูปของไอเสีย ซึ่งจะมีอุณหภูมิประมาณ 310-430 °C ซึ่งอาจใช้ในการผลิตไอน้ำ โดยใช้ Waste Heat Boiler ได้ ปริมาณความร้อนที่มีอยู่ในไอเสียนี้จะมีค่าประมาณ 50% ของความร้อนที่เครื่องยนต์จะปล่อยออกมาทั้งหมด
2. ปริมาณความร้อนที่เหลือเป็นพลังงานความร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำ อยู่ในรูปของระบบน้ำระบายความร้อน ระบบน้ำมันหล่อลื่น และระบบลมระบายความร้อน พลังงานความร้อนเหล่านี้เป็นพลังงานที่มีอุณหภูมิต่ำไม่อาจใช้ในขบวนการผลิตได้ แต่ระบบน้ำระบายความร้อนอาจจะใช้ในการอุ่นน้ำป้อนหรือใช้เป็นน้ำป้อนของระบบ ซึ่งในกรณีนี้จะต้องมีระบบน้ำหล่อเย็นสำรองไว้ใช้ในกรณีฉุกเฉินด้วย

เนื่องจากระบบนี้ใช้เครื่องยนต์ Compression Ignition (C.I) และ Spark-Ignition (S.I) Engines เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดย Compression Ignition

(C.I) เป็นเครื่องยนต์ดีเซล ส่วน *Spark-Ignition (S.I)* จะเป็นเครื่องยนต์แก๊สโซลีน โดยมีหัวเทียน (Spark plug) ช่วยในการจุดระเบิดด้วย มีการทำงานเป็น 4-Stroke Cycle ดังรูปที่ 3.30



รูปที่ 3.30 อธิบายการทำงานของ 4-Stroke Cycle

เครื่องยนต์สันดาปภายในแบบชนิด *Compression Ignition (C.I)* และ *Spark-Ignition (S.I) Engines* มีข้อดี-ข้อเสียดังนี้

ข้อดี Advantages

- มีประสิทธิภาพกำลังสูง ยานโหลดกว้าง ใช้ความร้อนไม่มาก
- เมื่อเปรียบเทียบค่าการลงทุนต่อไฟฟ้าหน่วย KW ราคาถูก
- ปล่อยควันเสียน้อย

ข้อเสีย Disadvantages

- มีเสียงรบกวนที่ระดับสูง
- ค่าบำรุงรักษาสูง ใช้ต้องพื้นที่ในการติดตั้งถึงน้ำมัน

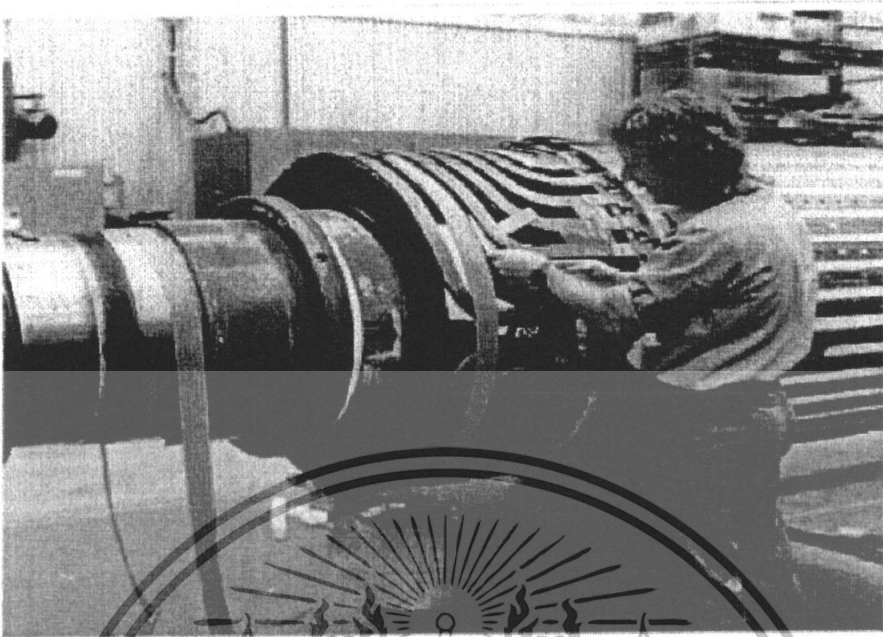
และข้อเสียอีกอย่างหนึ่งของเครื่องยนต์ชนิด *Spark-Ignition (S.I)* นี้คือ เกิดการ *knock* ซึ่ง *knock* คือ สิ่งที่ไม่พึงปรารถนาสำหรับเครื่องยนต์ชนิด *spark-ignition (gasoline)* ซึ่งจะทำให้ กำลังการผลิตลดลง ในการป้องกันการ *knock* นั้น จะใช้สารประกอบ *alkyl lead* ไปผสมกับแก๊สโซลีน อย่างไรก็ตาม สารประกอบนี้ถูกสั่งห้ามในหลายๆประเทศ รวมทั้งประเทศไทยด้วย ดังนั้น ในปัจจุบันจึงเป็นงานท้าทายสำหรับวิศวกรเคมีที่จะหาสารที่เติมหรือผสมเข้าไป และสามารถป้องกันการ *knock* แทนที่สารประกอบ *alkyl lead* ได้

ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์ต่างๆของระบบผลิตพลังงานร่วมแบบผลิตกำลังไฟฟ้านำหน้า ทั้ง 3 ชนิด

	การผลิตร่วมโดยใช้กังหันน้ำ แบบ Back Pressure	การผลิตพลังงานร่วม แบบใช้กังหันก๊าซ	การผลิตร่วมที่ใช้ เครื่องยนต์สันดาป ภายใน
ขนาด	500 kW _e - 100MW _e	500 kW _e - 100MW _e	500 kW _e - 100MW _e
ประสิทธิภาพของ ระบบ	ได้สูงถึง 84%	80%	85%
H/P	5 - 20	2 - 5	1 - 3
ความร้อนที่ นำไปใช้งาน	ไอน้ำที่ระดับตามความ ต้องการ	ก๊าซร้อน 450 - 550 °C	50% น้ำร้อนและก๊าซ ร้อน อุณหภูมิ 450 °C
เชื้อเพลิง	ก๊าซ ของเหลว และ ของแข็ง	ก๊าซหรือเชื้อเพลิงเหลว	ก๊าซหรือเชื้อเพลิงเหลว

3.3.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ที่ใช้ในโรงจักรไฟฟ้าชีวมวล ส่วนใหญ่แล้วจะเลือกใช้ที่เป็นประเภท Synchronous generator แบบ Wound rotor เนื่องจากใช้งานกับกังหันไอน้ำ ซึ่งจะทำงานที่ความเร็วสูง ประกอบกับที่ความเร็วสูง จะทำให้เกิดการการทำงานที่มีประสิทธิภาพมากกว่า โดยส่วนใหญ่แล้วที่ใช้งานกับกังหันไอน้ำจะเป็นแบบ 2 pole ทำงานที่ความเร็ว 3600 rpm ซึ่งถ้าเป็นแบบ Salient pole จะประสบกับปัญหาในเรื่องของ mechanical stress และ windage loss ที่มีค่าสูง ดังนั้นจึงไม่ควรเลือกใช้ เมื่อใช้งานกับกังหันไอน้ำแล้ว จะใช้กับแบบ Wound rotor จะเหมาะสมกว่ามาก



รูปที่ 3.31 แสดงลักษณะของ Wound rotor

3.3.3 การควบคุม (Control)

ในเรื่องของการควบคุมนั้นเนื่องจาก Wound rotor เป็น Synchronous generator ชนิดหนึ่ง ซึ่งการควบคุมนั้น คือการควบคุมโดยใช้ Excitation Control System ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในเรื่องของโรงจักรไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก

3.3.4 ด้านเศรษฐศาสตร์ (Economic)

ในที่นี้จะนำเสนอในรูปแบบเทคโนโลยีแบบการผลิตพลังงานร่วมแบบใช้กังหันไอน้ำแบบback pressure โดย Cost component แบ่งออกเป็น

- เงินลงทุน (Investment cost)
- การดำเนินการและการบำรุงรักษา (O & M)
- ราคาเชื้อเพลิง

3.3.4.1 เงินลงทุน แบ่งออกเป็น

- | | |
|------------------------------------|-----|
| - หม้อไอน้ำ | 40% |
| - การจัดการและการจัดเก็บเชื้อเพลิง | 30% |
| - การติดตั้ง (รวมค่าแรง) | 15% |
| - หน่วยควบคุมมลภาวะ | 10% |
| - การบำบัดน้ำเสีย | 5% |

ราคาหม้อไอน้ำ

- ขนาด 15 ตัน/ชม. ราคา 23 ล้านบาท
- ขนาด 20 ตัน/ชม. ราคา 30 ล้านบาท
- ขนาด 41 ตัน/ชม. ราคา 60 ล้านบาท

ราคากังหันไอน้ำ

- ผลิตกระแสไฟฟ้าในช่วง 500 -1,000 kW ราคา 5,730,000 บาท
- ผลิตกระแสไฟฟ้าในช่วง 1,000 -1,200 kW ราคา 6,730,000 บาท

โดยที่

หม้อไอน้ำขนาด 15 ตัน/ชม. ใช้ร่วมกับกังหันน้ำที่ผลิตกระแสไฟฟ้าในช่วง 500 -1,000 kW

หม้อไอน้ำขนาด 20 ตัน/ชม. ใช้ร่วมกับกังหันน้ำที่ผลิตกระแสไฟฟ้าในช่วง 1,000 -1,200 kW

ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำที่ใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง 65 %

ที่มา : ศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย พ.ศ. 2542

3.3.4.2 การดำเนินการและการบำรุงรักษา (O & M)

- 10% ของเงินลงทุน

3.3.4.3 ราคาเชื้อเพลิงข้อมูลทั่วไป

- ค่าความร้อนของแกลบ 14.40 MJ/kg ราคา 0.35 บาท/กก.
- ค่าความร้อนของไม้พิน 15.99 MJ/kg ราคา 0.5 บาท/กก.
- ค่าความร้อนของกากอ้อย 7.99 MJ/kg ราคา 0.14 บาท/กก.
- ค่าความร้อนของน้ำมันดีเซล 36.42 MJ/kg ราคา 8 บาท/กก.
- ค่าความร้อนของน้ำมันเตาเกรด A 39.23 MJ/kg ราคา 6 บาท/กก.
- ค่าความร้อนของน้ำมันเตาเกรด C 41.1 MJ/kg ราคา 5 บาท/กก.

รายละเอียดของหม้อไอน้ำ

- ขนาดของหม้อไอน้ำ (ตัน) 2 4 6 8 10 15 20
- ความดัน (บาร์) 20 20 20 20 20 20 20
- ปริมาณความร้อนที่ต้องการของไอน้ำ (MJ/h) 5560 11120 16680 22240 27800 41700 55600

รายละเอียดของเชื้อเพลิง

- ปริมาณความต้องการกลบ (กก./ชม.)	386	772	1158	1544	1931	2896	3861
- ราคาเชื้อเพลิงกลบ (บาท/ชม.)	135	270	405	540	976	1014	1351
- ปริมาณความต้องการใช้ฟืน (กก./ชม.)	348	695	1043	1391	1739	2608	3477
- ราคาเชื้อเพลิงไม้ฟืน (บาท/ชม.)	174	348	522	695	869	1304	1739
- ปริมาณความต้องการกากอ้อย (กก./ชม.)	696	1392	2088	2783	3479	5219	6959
- ราคาเชื้อเพลิงขานอ้อย (บาท/ชม.)	97	195	292	390	487	731	974
- ปริมาณความต้องการน้ำมันดีเซล (กก./ชม.)	153	305	458	611	763	1145	1527
- ราคาเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล (บาท/ชม.)	1221	2443	3664	4885	6107	9160	12210
- ปริมาณความต้องการน้ำมันเตาเกรด A (กก./ชม.)	142	283	425	567	709	1063	1417
- ราคาเชื้อเพลิงน้ำมันเตาเกรด A (บาท/ชม.)	850	1701	2551	3401	4252	6378	8504
- ปริมาณความต้องการน้ำมันเตาเกรด C (กก./ชม.)	135	271	406	541	676	1015	1353
- ราคาเชื้อเพลิงน้ำมันเตาเกรด C (บาท/ชม.)	676	1353	2029	2706	3382	5073	6764

ที่มา : ศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย พ.ศ. 2542

ตารางที่ 3.4 แสดงการเปรียบเทียบ Cost component และ unit cost ของแต่ละโรงจักร

Cost	Plant		
	Wind	SHP	Biomass
1.Invesment	85 %	80 %	70 %
2.O & M	10 %	10 %	20 %
3.Fuel	-	-	5 %
4.Other	5 %	10 %	5 %
Unit Cost (Baht/kWh)	5.00	2.21	2.63

ที่มา : สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2006)

ศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2007)

บทที่ 4

สรุปผลแนวทางการเลือกใช้เทคโนโลยี

ในบทนี้จะนำเสนอการสรุปผลด้านเทคนิคเพื่อแสดงถึงแนวทางการเลือกใช้เทคโนโลยีที่ควรใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงจักรไฟฟ้าพลังงานทางเลือกที่ได้ทำการศึกษาในส่วนของด้านเทคนิค และด้านเศรษฐศาสตร์ จะทำการสรุปสาระสำคัญเกี่ยวกับ cost component เบื้องต้นของโรงจักรไฟฟ้าพลังงานทางเลือกที่ได้ทำการศึกษา

4.1 ด้านเทคนิค

4.1.1 โรงจักรไฟฟ้าพลังงานลม

แนวทางในการเลือกใช้

จากข้อมูลที่ได้นำเสนอเกี่ยวกับตัวต้นกำลัง, เครื่องกำเนิดไฟฟ้า และการควบคุม ประกอบกับการวิเคราะห์ทางด้านเทคนิค สามารถนำเสนอแนวทางการเลือกใช้ได้ดังนี้ **ตัวต้นกำลัง (Prime Mover)** กังหันลมควรเลือกใช้แบบมีเพลลาอยู่ในแนวแกนนอน เนื่องจากมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า มีพื้นที่รับลมที่มากกว่า เมื่อเทียบที่น้ำหนักเท่ากัน ได้รอบที่มากกว่า เมื่อเทียบที่ความเร็วที่เท่ากัน นอกจากนี้แล้วยังมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในปัจจุบัน

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ควรเลือกใช้ Doubly fed induction generator เนื่องจากกังหันลมสามารถทำงานที่ความเร็วลมระดับต่างๆ ในช่วงที่กว้างกว่า มีการสูญเสียกำลังจากอุปกรณ์ภายในต่ำและยอมรับได้ และมี partial scale frequency converter ทำหน้าที่ชดเชยความแตกต่างของความถี่ทางไฟฟ้ากับความถี่ทางกล ซึ่งทำให้มีความสามารถที่จะควบคุมกำลังจริงและ กำลังจินตภาพในระหว่างการทำงานได้เป็นอย่างดี ประกอบกับการที่เป็นแบบ induction generator ทำให้มีข้อดีในเรื่องของการบำรุงรักษาที่ง่าย แข็งแรง ทนทาน และโครงสร้างไม่ซับซ้อน

การควบคุม (Control) ควรเลือกใช้ระบบขับเคลื่อนแบบเซอร์เบียสแบบสถิต สามารถควบคุมกำลังสลลิป (slip power) ได้ เครื่องจักรทำงานได้ทั้ง 2 โหมด คือโหมด supersynchronous และโหมด subsynchronous

4.1.2 โรงจักรไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก แนวทางการเลือกใช้

จากข้อมูลที่ได้นำเสนอเกี่ยวกับตัวต้นกำลัง, เครื่องกำเนิดไฟฟ้า และการควบคุม ประกอบกับการวิเคราะห์ทางด้านเทคนิค สามารถนำเสนอแนวทางการเลือกใช้ได้ดังนี้

ตัวต้นกำลัง (Prime Mover) ในการเลือกเครื่องกังหันน้ำ สามารถพิจารณาได้จากระดับความสูงหัวน้ำ อัตราการไหลของน้ำ หรือขนาดกำลังผลิตของเครื่องกังหันน้ำ ในที่นี้พิจารณาจากระดับความสูงของหัวน้ำ

- ที่ระดับความสูงหัวน้ำมากกว่า 250 เมตร

สามารถเลือกใช้กังหันน้ำเพลดัน

- ที่ระดับความสูงหัวน้ำระหว่าง 70 - 250 เมตร

สามารถเลือกใช้กังหันน้ำฟรานซิส, กังหันน้ำเทอร์โก ตามความเหมาะสมดังนี้

- ในกรณีที่เลือกใช้กังหันน้ำฟรานซิส ระบบจะต้องมีอัตราการไหลของน้ำสูง เพราะเมื่ออัตราการไหลของน้ำลดลง ประสิทธิภาพของกังหันน้ำฟรานซิสจะต่ำ

- ในกรณีที่เลือกใช้กังหันน้ำเทอร์โก ระบบจะต้องมีอัตราการไหลของน้ำต่ำ

- ที่ระดับความสูงหัวน้ำน้อยกว่า 70 เมตร

สามารถเลือกใช้กังหันน้ำครอสโฟลว์, กังหันน้ำคาปลาน, กังหันน้ำแบบใบพัดตายตัว, กังหันน้ำกระเปาะ ตามความเหมาะสมดังนี้

- ในกรณีที่เลือกใช้กังหันน้ำครอสโฟลว์ จะเหมาะกับระบบที่มีอัตราการไหลของน้ำต่ำ

- ในกรณีที่เลือกใช้กังหันน้ำคาปลาน จะเหมาะกับระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำบ่อย เพราะมีความยืดหยุ่นในการใช้งานสูงกว่าชนิดอื่น

- ในกรณีที่เลือกใช้กังหันน้ำแบบใบพัดตายตัว จะต้องมีอัตราการไหลของน้ำที่สม่ำเสมอ เพราะประสิทธิภาพจะลดลงมากถ้าใช้งานที่อัตราไหลต่ำกว่านั้น เนื่องจากความเป็นกังหันแบบ ใบพัดตายตัวนั่นเอง

- ในกรณีที่เลือกใช้กังหันน้ำแบบกระเปาะ จะใช้กับระบบที่ต้องการกำลังผลิต

น้อยๆ มีระดับความสูงต่างๆ น้อยกว่า 40 เมตร จะช่วยลดได้ทั้งขนาดและราคาการสร้าง

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) สามารถใช้ได้ทั้งแบบ Doubly-fed induction generator และแบบ Salient pole synchronous generator ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าจะเป็นการใช้งานแบบ Variable speed หรือ Constant speed ถ้าเป็นแบบ Variable speed เลือกใช้ Doubly-fed induction generator และถ้าเป็นแบบ Constant speed เลือกใช้ Salient pole synchronous generator

การควบคุม (Control) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ Doubly-fed induction generator ควรเลือกใช้ระบบขับเคลื่อนแบบเซอร์เบียสแบบสถิต ส่วนในเรื่องของ Salient pole

synchronous generator ควรจะใช้การควบคุมแบบ Static เนื่องจากไม่มีส่วนใดที่หมุน ประกอบกับการได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง และราคาก็ถูกกว่า

4.1.3 โรงจักรพลังชีวมวล แนวทางการเลือกใช้

รูปแบบการผลิตแบบพลังงานร่วม (Cogeneration) แบบผลิตไฟฟ้านำหน้า ที่ควรเลือกรูปแบบการผลิตแบบนี้ เนื่องจากโดยทั่วไปรูปแบบการผลิตแบบแยกผลิตจะสูญเสียไปกับความร้อนสูงมากกว่า 60% ของเชื้อเพลิงที่ใช้จะเป็นการสูญเสีย การผลิตพลังงานร่วมจึงเป็นระบบที่ใช้ประโยชน์จากพลังงานความร้อนไปใช้งาน แทนที่จะสูญเสียไป ทำให้ประสิทธิภาพของระบบสูงขึ้น และควรเลือกใช้แบบผลิตไฟฟ้านำหน้าเพราะ อุตสาหกรรมทั่วไปใช้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิต่ำไม่สูงมากนัก ประกอบกับระบบผลิตพลังงานร่วมชนิดนี้มักให้ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ดีกว่าระบบผลิตไฟฟ้าตามหลัง และอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในระบบนี้ได้รับการพัฒนามาแล้วเป็นอย่างดี

ตัวต้นกำลัง (Prime Mover) ควรเลือกใช้กังหันไอน้ำแบบ Back Pressure เนื่องจาก เหตุผลหลักคือสามารถใช้กับเชื้อเพลิงชีวมวลได้ทั้ง ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ซึ่งเหมาะสมกับอุตสาหกรรมในประเทศไทย ที่มีเชื้อเพลิงชีวมวลแบบแข็งอยู่มากมาย ต่างจากการใช้กังหันก๊าซ และเครื่องยนต์สันดาปภายใน ที่ใช้เชื้อเพลิงแบบของเหลวและก๊าซเท่านั้น และกังหันไอน้ำแบบ Back Pressure เมื่อเทียบประสิทธิภาพของระบบจะเห็นว่ามีค่าสูงกว่า กังหันไอน้ำแบบ Condensing Extraction

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ควรเลือกใช้ Synchronous แบบ Wound rotor เนื่องจากกังหันไอน้ำ ซึ่งจะทำงานที่ความเร็วสูง ประกอบกับที่ความเร็วสูง จะทำให้เกิดการการทำงานที่มีประสิทธิภาพมากกว่า ซึ่งถ้าเป็นแบบ Salient pole จะประสบกับปัญหาในเรื่องของ mechanical stress และ windage loss ที่มีค่าสูง ดังนั้นจึงไม่ควรเลือกใช้ เมื่อใช้งานกับกังหันไอน้ำแล้ว จะใช้กับแบบ Wound rotor จะเหมาะสมกว่ามาก

การควบคุม (Control) ควรจะใช้การควบคุมแบบ Static เนื่องจากไม่มีส่วนใดที่หมุน ประกอบกับการได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง และราคาก็ถูกกว่า

4.2 ทางด้านเศรษฐศาสตร์

4.2.1 Investment cost

Wind

Cost component :

*Wind turbine	74.57 %
Foundation	10.17 %
Planning	3.73 %
Grid Connection & Electrical Connection	3.39 %
Other	8.14 %

*Wind turbine : 40 – 50 Bath/Watt

ที่มา : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

Small Hydro

Cost component :

*Construction	60 %
Turbine-Generator & Control	25 %
Electrical equipment	10 %
Building	5 %

*Unit construction cost (>2MW) : 44,164 Baht/kW

ที่มา : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

Biomass

Cost component :

*หม้อไอน้ำและระบบ	40 %
การจัดการและการจัดเก็บเชื้อเพลิง	30 %
การติดตั้ง (รวมค่าแรง)	15 %
หน่วยควบคุมมลภาวะ	10 %
การบำบัดน้ำเสีย	5 %

*หม้อน้ำ :

- ขนาด 15 ตัน/ชม. ราคา 23 ล้านบาท
- ขนาด 20 ตัน/ชม. ราคา 30 ล้านบาท
- ขนาด 41 ตัน/ชม. ราคา 60 ล้านบาท

*กังหันไอน้ำ :

- ผลิตกระแสไฟฟ้าในช่วง 500-1,000 kW ราคา 5,730,000 บาท
- ผลิตกระแสไฟฟ้าในช่วง 1,000-1,200 kW ราคา 6,730,000 บาท

โดยที่ - หม้อน้ำขนาด 15 ตัน/ชม. สามารถใช้ร่วมกับกังหันน้ำที่ผลิตกระแสไฟฟ้า ในช่วง 500-1,000 kW

- หม้อน้ำขนาด 20 ตัน/ชม. สามารถใช้ร่วมกับกังหันน้ำที่ผลิตกระแสไฟฟ้า ในช่วง 1,000-1,200 kW

ที่มา : ศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย กระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2542

4.2.2 Maintenance cost

Wind

1.50 % ของ investment cost (ในช่วง 2 ปีแรก)

Escalation rate of maintenance cost per year : 2 - 5 % ของ investment cost

Small Hydro

0.5 - 1 % ของ investment cost

Escalation rate of maintenance cost per year : 4 % ของ investment cost

Biomass

10 % ของ investment cost

Escalation rate of maintenance cost per year : 3 % ของ investment cost

4.2.3 Operating cost (Fuel & Transportation Cost)

Wind

ไม่มีค่าใช้จ่ายในส่วนค่าเชื้อเพลิงและค่าขนส่งเชื้อเพลิง

Small Hydro

ไม่มีค่าใช้จ่ายในส่วนค่าเชื้อเพลิงและค่าขนส่งเชื้อเพลิง

Biomass

*Fuel cost, *Transportation cost

***ราคาเชื้อเพลิง(Fuel cost)**

- ค่าความร้อนของแกลบ	13.00 MJ/kg	ราคา	0.35	บาท/กก.
- ค่าความร้อนของมันสำปะหลังแห้ง	7.00 MJ/kg	ราคา	0.05	บาท/กก.
- ค่าความร้อนของเหง้ามันสำปะหลัง	7.40 MJ/kg	ราคา	0.15	บาท/กก.
- ค่าความร้อนของฟางข้าว	10.20 MJ/kg	ราคา	0.85	บาท/กก.
- ค่าความร้อนของกะลาปาล์ม	17.00 MJ/kg	ราคา	0.55	บาท/กก.
- ค่าความร้อนของเส้นใยปาล์ม	11.90 MJ/kg	ราคา	0.10	บาท/กก.
- ค่าความร้อนของทลายปาล์มเปล่า	7.20 MJ/kg	ราคา	0.05	บาท/กก.
- ค่าความร้อนของไม้พิน	15.99 MJ/kg	ราคา	0.50	บาท/กก.
- ค่าความร้อนของกากอ้อย	7.99 MJ/kg	ราคา	0.14	บาท/กก.

***ราคาค่าขนส่ง(Transportation cost)**

คิดที่ระยะทาง 50 กม.

- แกลบ	ราคา 150 บาท/ตัน
- มันสำปะหลังแห้ง	ราคา 150 บาท/ตัน
- เหง้ามันสำปะหลัง	ราคา 150 บาท/ตัน
- ฟางข้าว	ราคา 150 บาท/ตัน

คิดที่ระยะทาง 800 กม.

- กะลาปาล์ม	ราคา 600 บาท/ตัน
- เส้นใยปาล์ม	ราคา 600 บาท/ตัน
- ทลายปาล์มเปล่า	ราคา 600 บาท/ตัน

ที่มา : ศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย กระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2542

4.2.4 Unit cost

Wind

Unit cost : 3.6 – 6.0 Baht/kWh

Small Hydro

Unit cost : 2.4 – 2.8 Baht/kWh

Biomass

Unit cost : 2.6 – 3.7 Baht/kWh

ตารางที่ 4.1 อัตราค่าบริการซื้อไฟฟ้าของ กฟผ. ที่รับซื้อจากผู้ผลิตไฟฟ้าประเภท VSPP

ค่าซื้อไฟฟ้าจาก VSPP		Peak	Off Peak	ค่า FT	
		(บาทต่อหน่วย)	(บาทต่อหน่วย)	ขายปลีก	ขายส่งเฉลี่ย
อัตรา TOU (อัตราขายส่ง)		2.9278	1.1154		
อัตราปกติ	ขายปลีกเฉลี่ย	ขึ้นอยู่กับปริมาณการใช้ไฟฟ้าของ		0.8544	0.8614
	ขายส่งเฉลี่ย	ผู้ใช้ไฟแต่ละราย			
			1.6856		

ที่มา : กองอัตราและธุรกิจไฟฟ้า

4.2.5 Financing structure

Wind

- Debt/Equity Ratio : 70/30
- Interest rate : less than 4%
- Adder cost : 2.50 Baht/kWh

Small Hydro

- Debt/Equity Ratio : 70/30
- Interest rate : less than 4%
- Adder cost : 0.40 Baht/kWh

Biomass

- Debt/Equity Ratio : 70/30
- Interest rate : less than 4%
- Adder cost : 0.30 Baht/kWh

ที่มา : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

4.2.6 Depreciation of the generator

The most common system is 5.28% may be considered

ที่มา : ENVIS Center 2006-2007



บทที่ 5

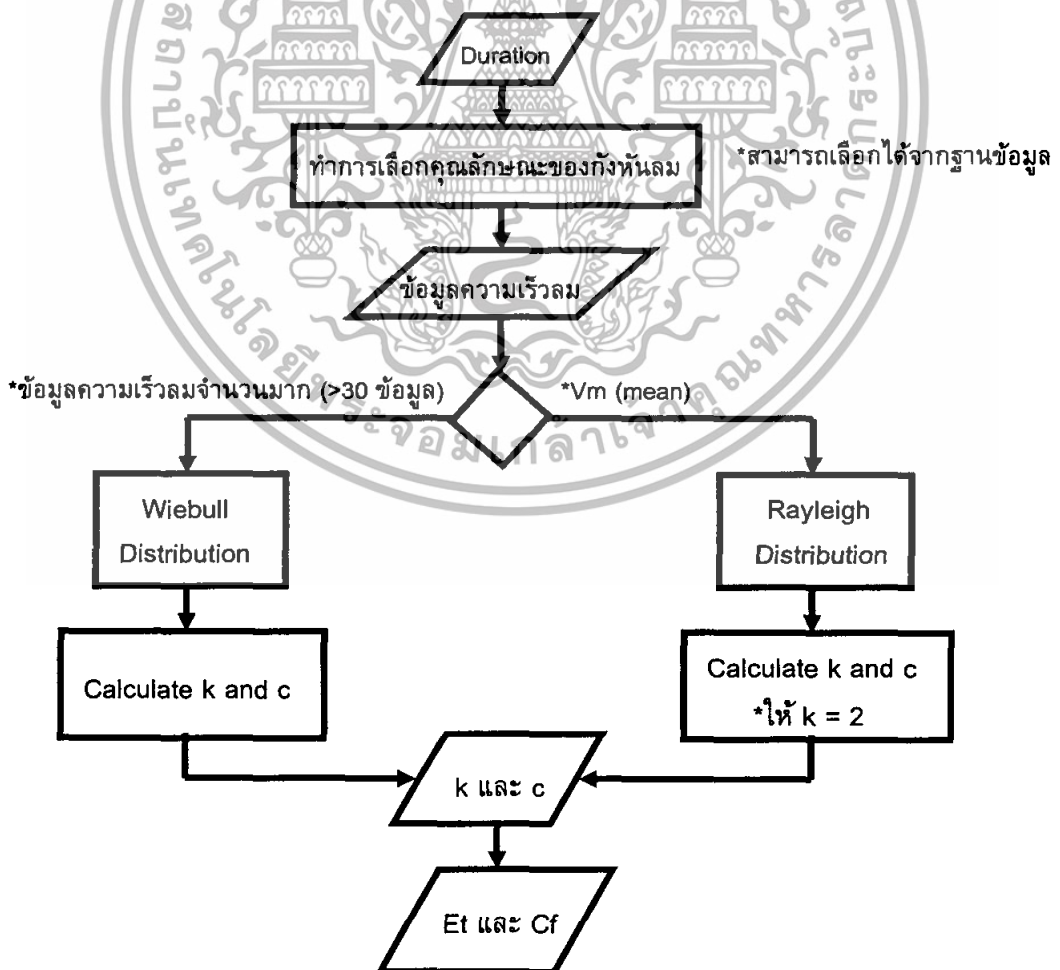
รายละเอียดและวิธีการใช้งานโปรแกรม

โปรแกรมการวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานลมได้จัดทำขึ้นโดยใช้โปรแกรม Visual Basic 6.0 เพื่อติดต่อกับผู้ใช้งานในการคำนวณหาพลังงานที่ได้จากกังหันลม ทั้งนี้เพื่อหาทำเลที่ตั้งและคุณลักษณะของกังหันลมที่เหมาะสมของแต่ละพื้นที่ในประเทศไทย

ซึ่งแบบจำลองทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการติดตั้งกังหันลม ณ ทำเลที่ตั้งที่เหมาะสม มีดังนี้

- ค่าความเร็วลม
- คุณลักษณะของกังหันลม
- กราฟการผลิตกำลังงานของกังหันลม (Power curve)
- Total Energy (Et) , Capacity Factor (Cf)

จากแบบจำลองทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการติดตั้งกังหันลม ณ ทำเลที่ตั้งที่เหมาะสม สามารถนำมาประยุกต์เป็นโปรแกรมการวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานลม ซึ่งมีหลักการทำงานดังนี้



รูปที่ 5.1 หลักการทำงานของโปรแกรม

5.1 การวิเคราะห์ความเร็วมโดยใช้แบบจำลองทางสถิติ

สามารถแบ่งออกได้ 2 วิธี

1. Weibull distribution
2. Rayleigh distribution

5.1.1 Weibull distribution

เป็นวิธีการที่ได้รับการยอมรับและใช้กันอย่างกว้างขวางทั่วไปในการวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานลม เหมาะสำหรับการที่มีข้อมูลความเร็วมจำนวนมากๆ ในการวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานลมนั้นจำเป็นต้องทำการหาค่าพารามิเตอร์ k และ c

เมื่อ $k =$ Weibull shape factor
 $c =$ scale factor

โดยที่ค่า k และ c นั้นจะขึ้นอยู่กับ การกระจายความเร็วมของพื้นที่นั้น
 วิธีการหาค่า k และค่า c ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปก็จะมีอยู่หลายวิธีด้วยกันดังต่อไปนี้

1. Graphical method
2. Standard deviation method
3. Moment method
4. Maximum likelihood method
5. Energy pattern factor method

ซึ่งในที่นี้จะเลือกวิธี Graphical method มาใช้ในโปรแกรม เนื่องจากกราฟที่ทำการพล็อตจะมีค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริงและไม่มีฟังก์ชันแทรกมาเข้ามาเกี่ยวข้อง วิธีการ Graphical method นี้จะนำเอาสมการ cumulative distribution function มาพิจารณาในรูปแบบสมการเชิงเส้นในสเกลของฟังก์ชัน logarithm ดังต่อไปนี้

$$1 - F(V) = e^{-\left(\frac{V}{c}\right)^k} \quad (5.1)$$

Take the logarithm ทั้งสองข้างสองครั้งจะได้

$$\ln\{-\ln[1 - F(V)]\} = k \ln(V) - k \ln c \quad (5.2)$$

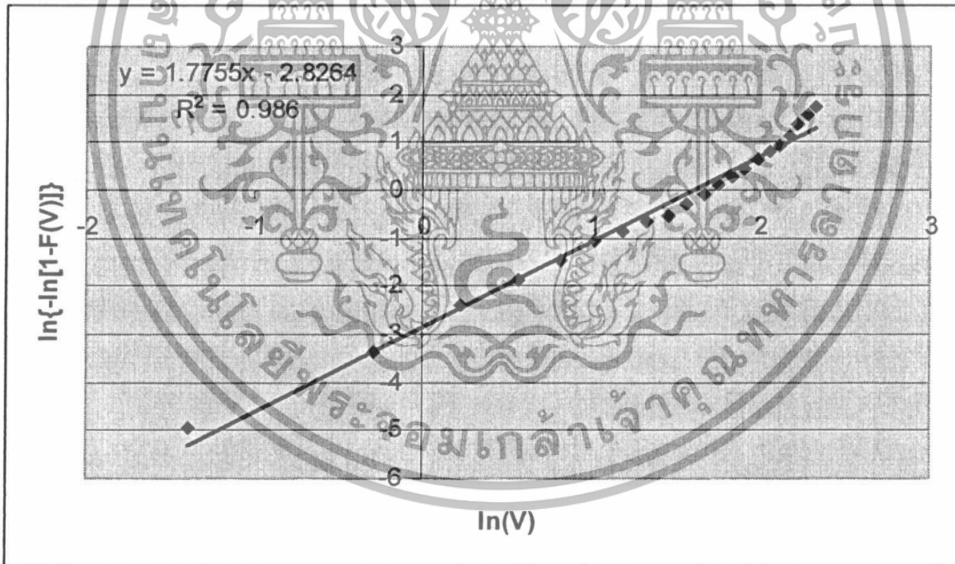
โดยที่ $F(V)$ นั้นจะเป็นตัวบ่งชี้แสดงความน่าจะเป็นที่ความเร็วมจะเท่ากับหรือน้อยกว่าความเร็วมที่กำหนด

ถ้าพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(V)$ (แกน X) และ $\ln\{-\ln[1 - F(V)]\}$ (แกน Y) จะได้กราฟที่เกือบเป็นเส้นตรงออกมาแล้วทำการ fitting curve ให้ได้สมการเส้นตรงออกมาอยู่ในรูป $y = mx + b$ เมื่อพิจารณาสมการที่ (5.2) ค่า k ก็คือค่าความชัน (Slope) และ $-k \ln c$ ก็คือค่าจุดตัดแกน Y หรือค่าคงที่ของสมการเชิงเส้นนั่นเอง แต่ก่อนที่จะทำการ fitting curve จะต้องทำการสร้างตารางแจกแจงความถี่สะสมและหาค่าต่างๆเพื่อนำมาพล็อตกราฟ

จำนวนทั้งหมด (n)	ความถี่	ความถี่สะสม	หา %	F(v)	ln(v)	-ln[1-F(v)]	ln{-ln[1-F(v)]}
อยู่ในช่วง 0.00 ถึง 0.01							
อยู่ในช่วง 0.01 ถึง 0.02							
อยู่ในช่วง 0.02 ถึง 0.03							
อยู่ในช่วง 0.03 ถึง 0.04							
อยู่ในช่วง 0.04 ถึง 0.05							
อยู่ในช่วง 0.05 ถึง 0.06							
อยู่ในช่วง 0.06 ถึง 0.07							
อยู่ในช่วง 0.07 ถึง 0.08							
อยู่ในช่วง 0.08 ถึง 0.09							
อยู่ในช่วง 0.09 ถึง 0.10							

รูปที่ 5.2 ตัวอย่างตารางแจกแจงความถี่ของความเร็วลม

ช่วงการแบ่งความเร็วลมจะมีผลต่อการพล็อตกราฟ โดยถ้าทำการแบ่งช่วงให้ละเอียดก็จะได้จำนวนจุดที่นำมาพล็อตกราฟมากขึ้น เป็นผลให้การ fitting curve ดีขึ้น



รูปที่ 5.3 ตัวอย่าง Curve fitting การกระจายความถี่ความเร็วลม

สามารถทำการ fitting curve ได้โดยใช้วิธี simple regression

จากสมการเส้นตรง $y = mx + b$

สามารถคำนวณค่า m และ b ได้ดังนี้

$$m = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5.3)$$

$$b = \bar{y} - m\bar{x} \quad (5.4)$$

เมื่อเปรียบเทียบกับสมการที่ (5.2)

$$\begin{aligned} \text{จะได้ } k &= m \\ c &= e^{-(b/k)} \end{aligned}$$

5.1.2 Rayleigh distribution

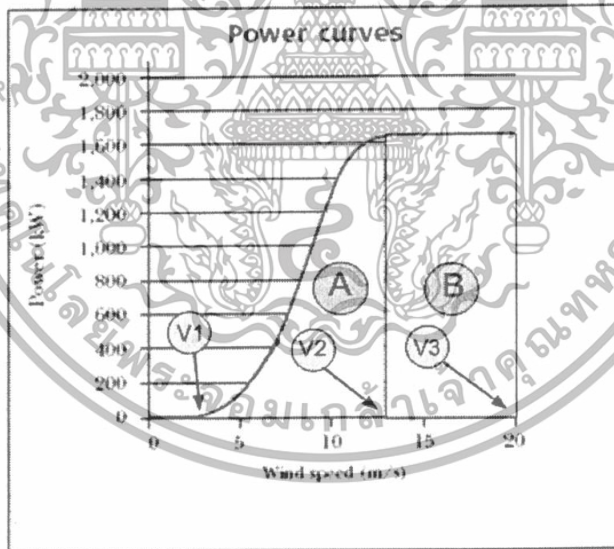
วิธีนี้เหมาะสำหรับข้อมูลความเร็วลมที่เก็บมาน้อย หรือข้อมูลที่เป็นความเร็วลมเฉลี่ย วิธีนี้จะใช้ค่าความเร็วลมเฉลี่ยในการหาค่า c

$$c = \frac{2V_m}{\sqrt{\pi}} \quad (5.5)$$

และจะกำหนดให้ค่า $k = 2$ เสมอ

5.1.3 พลังงานที่ได้จากกังหันลม

พลังงานที่ได้จะขึ้นอยู่กับการกระจายความเร็วลมและคุณลักษณะของกังหันลม ทั้งวิธี Weibull และ Rayleigh สามารถหาพลังงานได้จากวิธีเดียวกัน โดยทำการวิเคราะห์จาก power curve พลังงานจะถูกแบ่งคิดออกเป็น 2 พื้นที่ คือ พื้นที่ A และ พื้นที่ B



รูปที่ 5.4 กราฟการผลิตกำลังไฟฟ้าของกังหันลม

$$E_T = E_A + E_B \quad (5.6)$$

$$E_A = \left(\frac{P_R T}{V_2^n - V_1^n} \right) \int_{V_1}^{V_2} (V^n - V_1^n) \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c} \right)^{k-1} e^{-\left(\frac{V}{c} \right)^k} dV \quad (5.7)$$

จะเห็นได้จากสมการว่ามีฟังก์ชันอินทิเกรตเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งไม่สามารถเขียนลงในโปรแกรม Visual Basic ได้ จึงต้องทำการแบ่ง dV ออกเป็นช่วงย่อยๆ แล้วนำมาบวกกัน ยิ่งถ้าแบ่งช่วงละเอียดมากก็จะทำให้พลังงานมีค่าใกล้เคียงค่าจริงมากขึ้น

$$E_B = TP_R (e^{-X_2} - e^{-X_3}) \quad (5.8)$$

$$\text{โดยที่} \quad X_2 = \left(\frac{V_2}{c}\right)^k, \quad X_3 = \left(\frac{V_3}{c}\right)^k \quad (5.9)$$

เมื่อ	V_1	: cut-in velocity
	V_2	: rated velocity
	V_3	: cut-out velocity
	P_R	: rated power
	T	: duration time
	n	: slope
	V_i	: ความเร็วที่ตำแหน่งต่างๆ

5.3.4 Capacity factor

เป็นตัวบ่งบอกว่ากังหันลมที่เราเลือกติดตั้งในพื้นที่นั้นๆ มีการผลิตกำลังไฟฟ้าออกมาได้มากน้อยแค่ไหนเมื่อเทียบกับพิกัดที่กังหันลมตัวนั้นควรจะผลิตได้ โดย Capacity factor ของกังหันลมมีนิยามไว้ว่า อัตราของพลังงานที่กังหันลมที่ผลิตออกมาได้จริงต่อพลังงานที่พิกัดที่กังหันลมตัวนั้นผลิตได้

$$C_F = \frac{E_T}{TP_R} \quad (5.10)$$

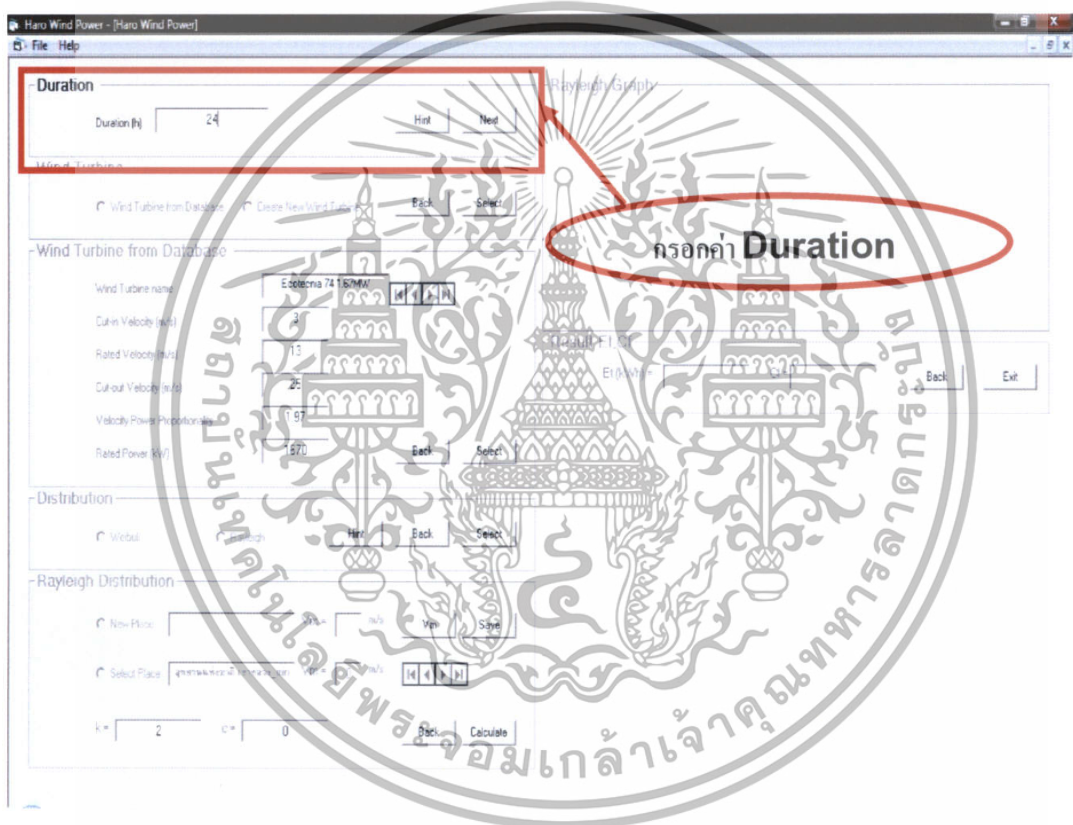
โดยปกติ Capacity factor จะคิดเป็นความสามารถการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อปีโดยที่ค่า Capacity factor ที่เหมาะสมในการผลิตกำลังไฟฟ้าของกังหันลมจะมีค่าอยู่ที่ 0.25 – 0.4 ถ้าสถานที่ที่ติดตั้งกังหันลมแล้วมีค่า Capacity factor มากกว่า 0.4 แสดงว่าการผลิตพลังงานไฟฟ้ามีประสิทธิภาพสูง

5.2 วิธีการใช้งานโปรแกรม

1. เริ่มที่ Menu Bar กด File >>> New Project >>> Yes เพื่อเริ่ม Project ใหม่
2. ขั้นตอนต่อมาให้กรอกค่า Duration (h) ที่ต้องการคำนวณหา

Duration คือ ระยะเวลาในการใช้งานของตัว Wind Turbine ว่าผู้ใช้จะต้องการคำนวณ Total Energy (Et) เป็นระยะเวลานานเท่าไร เช่น ต้องการคิด Total Energy (Et) และ Capacity Factor (Cf) ของ Wind Turbine ต่อวัน ค่า Duration = 24 เป็นต้น

เมื่อกรอกค่า Duration แล้วกด Next



รูปที่ 5.5 ขั้นตอนการกรอก Duration

3. ขั้นตอนต่อมาคือให้ทำการเลือกข้อมูลของ Wind Turbine ว่าผู้ใช้ต้องการเลือกข้อมูลของ Wind Turbine จากฐานข้อมูล หรือทำการกรอกข้อมูลของ Wind Turbine ตัวใหม่เพื่อทำการเก็บลงในฐานข้อมูลเพิ่ม

เมื่อเลือกรูปแบบข้อมูลของ Wind Turbine แล้ว กด Select



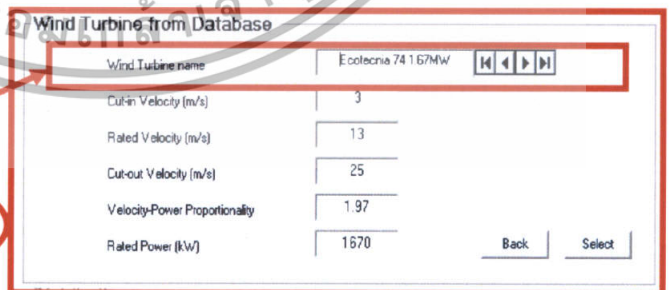
รูปที่ 5.6 ขั้นตอนการเลือกข้อมูลของ Wind Turbine

4. ในกรณีที่ผู้ใช้ทำการเลือกข้อมูลของ Wind Turbine จากฐานข้อมูล สามารถกดลูกศรซ้าย-ขวา เพื่อทำการเลือก Wind Turbine ที่ต้องการ เมื่อเลือกข้อมูลของ Wind Turbine ได้ตามต้องการ กด Select

ในกรณีที่เลือก :

Wind Turbine from Database

เลือกข้อมูล Wind turbine ได้จากฐานข้อมูลที่มีอยู่



รูปที่ 5.7 ขั้นตอนในการเลือกข้อมูลของ Wind Turbine จากฐานข้อมูล (Database)

5. ในกรณีที่ผู้ใช้ทำการเลือกกรอกข้อมูลของ Wind Turbine ตัวใหม่ (ไม่มีข้อมูลในฐานข้อมูล) ให้ผู้ใช้ทำการใส่ชื่อ Wind Turbine และข้อมูลของตัว Wind Turbine ทั้งหมด 5 ค่า ได้แก่ Cut-in Velocity(m/s), Rate Velocity(m/s), Cut-out Velocity(m/s), Velocity Power Proportionality, Rate Power (kW) เมื่อทำการกรอกเสร็จสามารถจัดเก็บลงในฐานข้อมูลของ Wind Turbine ได้ โดยการกด save

เมื่อกรอกข้อมูลของ Wind Turbine เสร็จแล้ว กด Select

ในกรณีที่เลือก :

Create New Wind Turbine

ข้อมูล Wind turbine ตัวใหม่สามารถจัดเก็บเป็นฐานข้อมูลได้ในครั้งต่อไปได้

รูปที่ 5.8 ขั้นตอนในการกรอกข้อมูลของ Wind Turbine ตัวใหม่

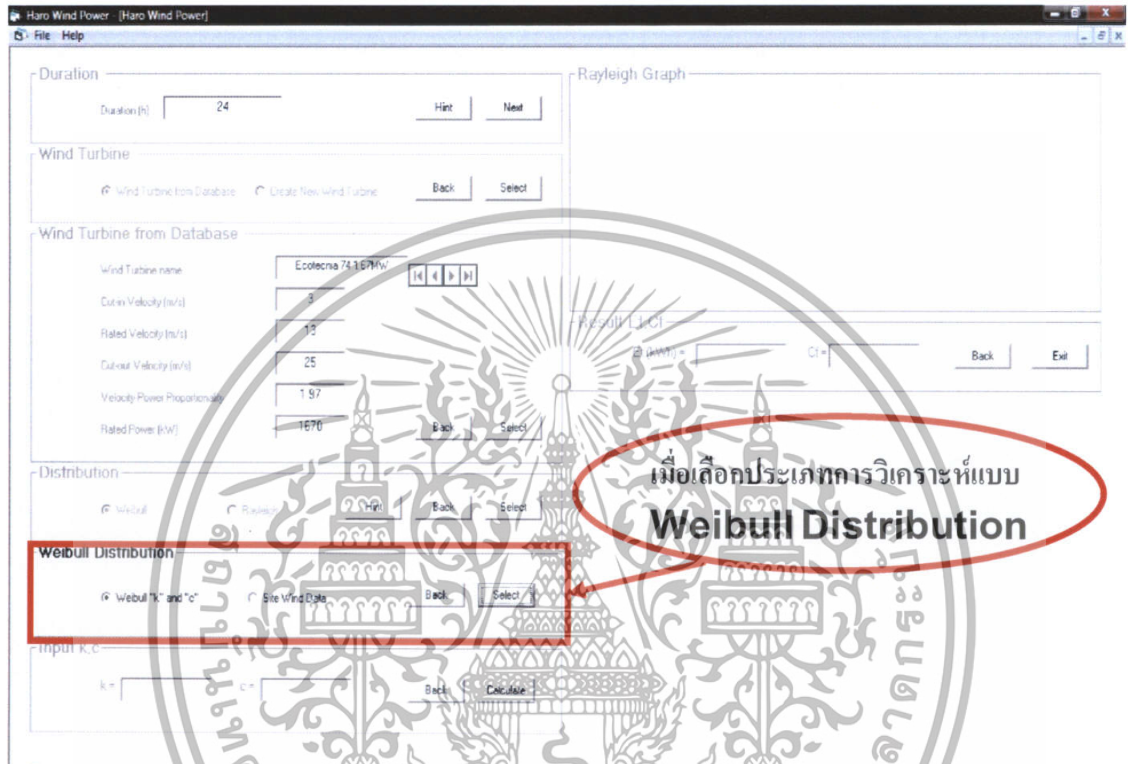
6. ขั้นตอนต่อมาคือทำการเลือกรูปแบบการวิเคราะห์การกระจายของข้อมูลความเร็วลม ได้แก่ Weibull Distribution และ Rayleigh Distribution ซึ่ง Weibull Distribution จะเหมาะสมสำหรับข้อมูลความเร็วลมจำนวนมากๆ (มากกว่า 30 ข้อมูล) ในขณะที่ Rayleigh Distribution จะเหมาะสมสำหรับข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ย ต่อปี หรือต่อเดือน (V_m)

เลือกประเภทของการวิเคราะห์ความเร็วลม

รูปที่ 5.9 ขั้นตอนการเลือกรูปแบบการวิเคราะห์การกระจายข้อมูลความเร็วลม (Distribution)

7. ในกรณีที่ผู้ใช้เลือกการวิเคราะห์การกระจายข้อมูลความเร็วลมแบบ Weibull Distribution สามารถเลือกที่จะกรอกค่า k และ c (Weibull “ k ” and “ c ”) หรือสามารถนำข้อมูลความเร็วลมไปหาค่า k และ c (Site Wind Data)

เมื่อเลือกแล้วกด Select



รูปที่ 5.10 ขั้นตอนการเลือกรูปแบบการวิเคราะห์การกระจายข้อมูลความเร็วลมแบบ Weibull Distribution

8. ในกรณีที่ผู้ใช้เลือกที่จะกรอกค่า k และ c (Weibull “ k ” and “ c ”) เมื่อกด Enter แล้วก็ยังสามารถกรอกค่า k และ c เพื่อคำนวณหาค่า Total Energy (E_t) และ Capacity Factor (C_f) ได้เลย

ในกรณีที่ผู้ใช้ต้องการนำข้อมูลความเร็วลมไปหาค่า k และ c (Site Wind Data) เมื่อกด Enter แล้วจะมีหน้าต่างแสดงตาราง Excel ขึ้นมา ดับเบิลคลิกที่ตารางแล้วกรอกข้อมูลลงในตาราง จะได้ค่า k และ c แสดงในตาราง จากนั้นนำค่า k และ c ไปกรอกเพื่อคำนวณหาค่า Total Energy (E_t) และ Capacity Factor (C_f)

เมื่อกรอกค่า k และ c แล้วกด Calculate

Weibull Distribution

Weibull "k" and "c" Site Wind Data Back Select

เลือกเมื่อไม่รู้ค่า k และ c และต้องการคำนวณหา

	A	B	C	F	G	H	I	J	K	L	M		
2	k		1.599503365										
3													
4	c		2.123774155										
5		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
6		v (m/s)											
7	1	0.4											
8	2	0.4											
9	3	0.4											
10	4	0.4											
11	5	0.4											
12	6	0.4											
13	7	0.4											
14	8	0.6											
15	9	0.8											
16	10	2.1											
17	11	0.9											
18	12	0.7											

Input k, c

k = c = Back Calculate

เลือกเมื่อรู้ค่า k และ c แล้วนำไปกรอก

เมื่อรู้ค่า k และ c แล้วจึงนำไปกรอก

รูปที่ 5.11 ขั้นตอนการวิเคราะห์การกระจายข้อมูลความเร็วลมแบบ Weibull Distribution

9. ในกรณีที่ผู้ใช้เลือกการวิเคราะห์การกระจายข้อมูลความเร็วลมแบบ Rayleigh สามารถเลือกที่จะกรอกค่าความเร็วลมเฉลี่ย (V_m) ณ สถานที่ใหม่ (New Place) เพื่อหาค่า c หรือสามารถเลือกข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ยจากฐานข้อมูล ณ สถานที่ที่สนใจ (Select Place) เพื่อหาค่า c

Rayleigh Distribution

New Place Select Place Hint Back Select

$V_m =$ m/s $V_m^2 =$ m/s² Van Save

$k =$ 2 $c =$ 0 Back Calculate

เมื่อเลือกประเภทการวิเคราะห์แบบ Rayleigh Distribution

รูปที่ 5.12 ขั้นตอนการเลือกรูปแบบการวิเคราะห์การกระจายข้อมูลความเร็วลมแบบ Rayleigh Distribution

10. ในกรณีที่ผู้ใช้เลือกที่จะกรอกค่าความเร็วลมเฉลี่ย (V_m) ณ สถานที่ใหม่ (New Place) เพื่อหาค่า c ให้ผู้ใช้กรอกค่าความเร็วลมเฉลี่ย (V_m) และชื่อสถานที่นั้นๆ เมื่อกรอกเสร็จสามารถจัดเก็บข้อมูลลงในฐานข้อมูลได้โดยการกด save

เมื่อกรอกข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ย (V_m) เสร็จแล้ว กด Calculate

ในกรณีที่เลือก : **New Place**

ข้อมูลความเร็วลม ณ สถานที่ใหม่สามารถจัดเก็บเป็นฐานข้อมูลใช้ในครั้งต่อไปได้

New Place $V_m =$ m/s

เมื่อไม่รู้ค่า V_m มีแต่ข้อมูลดิบ และต้องการคำนวณหา

เมื่อรู้ค่า V_m นำไปกรอกในช่อง V_m

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1													
2		V_m	#DIV/0!										
3			Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov
4													Dec
5		1											
6		2											
7		3											
8		4											
9		5											
10		6											
11		7											
12		8											
13		9											
14		10											
15		11											
16		12											
17		13											
18		14											

รูปที่ 5.13 ขั้นตอนการวิเคราะห์การกระจายข้อมูลความเร็วลมแบบ Rayleigh Distribution กรณี New Place

11. ในกรณีที่ผู้ใช้เลือกข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ย (V_m) จากฐานข้อมูล เพื่อหาค่า c ให้ผู้ใช้เลื่อนลูกศรเพื่อเลือกข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ย (V_m) ณ สถานที่ที่สนใจ

เมื่อเลือกข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ย (V_m) เสร็จแล้ว กด Calculate

ในกรณีที่เลือก : **Select Place**

Select Place | อุทยานแห่งชาติ เขาค้อวัง_min | $V_m = 8$ m/s

ข้อมูลความเร็วลมเลือกได้จากฐานข้อมูลที่มีอยู่

k = 2 | c = 0 | Back | Calculate

ค่า C จะเปลี่ยนไปตามข้อมูลความเร็วลมที่เลือก

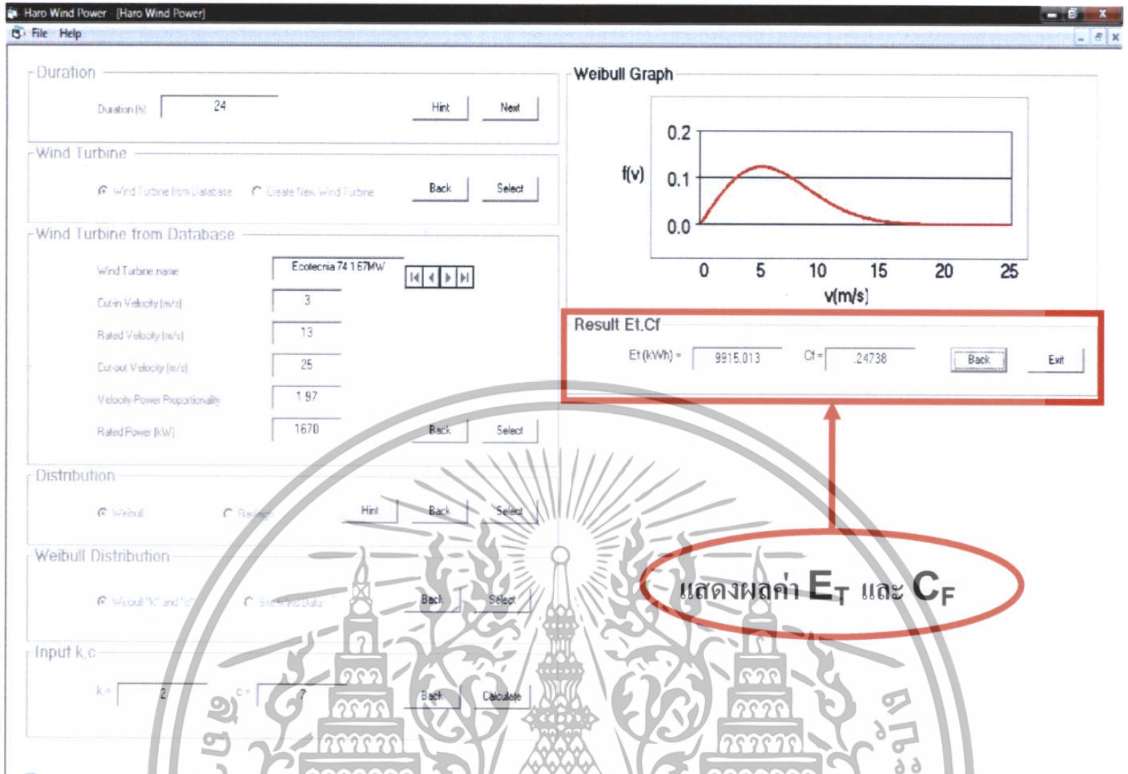
รูปที่ 5.14 ขั้นตอนการวิเคราะห์การกระจายข้อมูลความเร็วลมแบบ Rayleigh Distribution กรณี Select Place

12. ในการคำนวณหา Total Energy (Et) และ Capacity Factor (Cf) ทั้งการวิเคราะห์การกระจายความเร็วลมแบบ Weibull Distribution และ Rayleigh Distribution ตัวโปรแกรมจะแสดงกราฟ Probability Density

เมื่อทำการคำนวณ จะมีการแสดงผลเป็นกราฟ **Probability density**

รูปที่ 5.15 ขั้นตอนการแสดงกราฟ Probability Density

13. ผลสุดท้ายของโปรแกรมจะได้ Total Energy (E_t) และ Capacity Factor (C_f)



แสดงผลค่า E_T และ C_F

รูปที่ 5.16 แสดงค่า Total Energy (E_t) และ Capacity Factor (C_f)

5.3 ผลการทดลอง

จากการทดลองโดยนำโปรแกรมวิเคราะห์ศักยภาพความเร็วลมนี้มาใช้งาน โดยนำข้อมูลความเร็วลมจากที่ จ.เชียงใหม่ และ เกาะเต่า โดยใช้วิธีวิเคราะห์แบบ Weibull Distribution และ Rayleigh Distribution และเลือกใช้ Wind Turbine 2 ลักษณะคือ

- 1) Ecotecnia 80 2MW (Cut-in=3m/s, Cut-rate=13.5m/s, Cut-out=25m/s, Velocity-Power Proportionality=1.75, Rated Power=2,000kW)
- 2) Vesta V80 2MW (Cut-in=4m/s, Cut-rate=15m/s, Cut-out=25m/s, Velocity-Power Proportionality=1, Rated Power=2,000kW)

ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 5.1, 5.2 และ 5.3

จากผลการทดลอง(ตารางที่ 5.2 และ 5.3) จะสังเกตว่า ที่ช่วงเดือนเดียวกัน ความเร็วลมของเกาะเต่าจะมีความเร็วลมสูงกว่าที่ จ.เชียงใหม่ ซึ่งการที่ความเร็วลมมากกว่านั้น จะส่งผลให้ Wind Turbine นั้นสามารถผลิต Total Energy (E_t) และ ยังให้ค่า Capacity Factor (C_f) ที่เหมาะสมมากกว่าด้วย ซึ่งจากการทดลองนี้ Wind Turbine ที่มีความเหมาะสมมากกว่าที่จะติดตั้งที่เกาะเต่าคือ Ecotecnia 80 2MW เพราะว่าการติดตั้ง Turbine ตัวนี้ให้ ค่า E_t และ C_f ที่เหมาะสมกว่าเมื่อเทียบกับ Vesta V80 2MW

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าการหาค่า k และ c โดยวิธี Weibull และ Rayleigh จากข้อมูลความเร็วลมที่เชียงใหม่และเกาะเต่า

Place	1.Chiangmai					2.Tao Island				
	Weibull		Rayleigh			Weibull		Rayleigh		
Month	k	c	Vm	k	c	k	c	Vm	k	c
Jan	1.626	2.291	2.108	2.000	2.379	3.028	6.421	5.728	2.000	6.463
Feb	1.816	2.751	2.483	2.000	2.802	2.405	6.093	5.124	2.000	5.782
Mar	2.403	3.248	3.105	2.000	3.504	2.982	6.108	5.208	2.000	5.877
Apr	1.943	2.871	2.643	2.000	2.982	2.417	4.349	3.952	2.000	4.459
May	2.972	3.618	3.294	2.000	3.717	2.448	7.029	5.987	2.000	6.756
Jun	2.642	3.609	3.294	2.000	3.717	2.299	5.830	5.140	2.000	5.800
Jul	-	-	-	-	-	2.058	6.240	5.699	2.000	6.397
Aug	2.230	3.029	2.781	2.000	3.137	2.420	7.422	6.663	2.000	7.518
Sep	1.866	2.246	2.135	2.000	2.491	2.380	6.674	6.159	2.000	6.950
Oct	1.854	2.353	2.222	2.000	2.507	1.807	5.063	4.509	2.000	5.088
Nov	1.448	1.695	1.630	2.000	1.839	1.599	4.886	4.578	2.000	5.166
Dec	1.600	2.124	1.996	2.000	2.522	2.253	7.267	6.638	2.000	7.490
ALL Year	1.831	2.598	2.452	2.000	2.767	2.113	6.086	5.467	2.000	6.169

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าการหา E_f และ C_f โดยวิธี Weibull และ Rayleigh จากข้อมูลความเร็วลม
ที่เชียงใหม่และเกาะเต่า โดยใช้ Wind Turbine Vesta V80 2MW

Ecotecnia 80 2MW (Cut-in=3m/s, Cut-rate=13.5m/s, Cut-out=25m/s, Velocity-Power Proportionality=1.75, Rated Power=2,000kW)								
Place	1.Chiangmai				2.Tao Island			
Distribution	Weibull		Rayleigh		Weibull		Rayleigh	
Month	Et	Cf	Et	Cf	Et	Cf	Et	Cf
Jan	18,129.25	0.012	12,680.19	0.009	283,599.30	0.191	317,466.60	0.213
Feb	26,898.09	0.020	24,383.74	0.018	236,623.70	0.176	223,819.30	0.167
Mar	38,494.23	0.026	62,161.14	0.042	266,244.30	0.179	257,236.60	0.173
Apr	30,305.76	0.036	33,635.50	0.023	103,191.90	0.072	124,617.40	0.087
May	49,783.20	0.021	75,320.18	0.051	360,802.10	0.242	384,322.40	0.234
Jun	51,841.36	0.036	72,890.49	0.051	231,420.70	0.161	241,538.50	0.168
Jul	-	-	-	-	291,142.40	0.196	310,561.30	0.209
Aug	31,614.16	0.021	42,134.96	0.028	405,831.40	0.273	429,921.70	0.289
Sep	11,052.81	0.008	13,085.95	0.009	313,418.30	0.218	357,099.80	0.248
Oct	14,574.06	0.010	16,437.54	0.011	191,404.00	0.129	182,058.50	0.122
Nov	6,644.84	0.005	2,567.76	0.002	185,973.80	0.129	183,004.80	0.127
Dec	13,694.61	0.009	9,507.26	0.006	393,368.30	0.264	426,901.10	0.287
ALL Year	273,946.80	0.016	301,459.20	0.017	3,209,508.00	0.183	3,377,849.00	0.193

ตารางที่ 5.3 แสดงค่าการหา E_f และ C_f โดยวิธี Weibull และ Rayleigh จากข้อมูลความเร็วลม
ที่เชียงใหม่และเกาะเต่า โดยใช้ Wind Turbine Ecotecnia 80 2MW

Vesta V80 2MW (Cut-in=4m/s, Cut-rate=15m/s, Cut-out=25m/s, Velocity-Power Proportionality=1, Rated Power=2,000kW)								
Place	1.Chiangmai				2.Tao Island			
Distribution	Weibull		Rayleigh		Weibull		Rayleigh	
Month	Et	Cf	Et	Cf	Et	Cf	Et	Cf
Jan	10,105.15	0.007	4,961.20	0.003	264,814.20	0.178	294,728.00	0.198
Feb	16,213.39	0.012	13,192.83	0.010	218,256.10	0.162	205,094.00	0.153
Mar	20,892.01	0.014	44,692.45	0.030	245,704.90	0.165	236,284.60	0.159
Apr	17,725.95	0.012	20,017.96	0.014	81,333.18	0.056	105,847.90	0.074
May	26,140.80	0.018	57,047.12	0.038	338,617.90	0.228	324,476.40	0.218
Jun	30,642.63	0.021	55,206.89	0.038	211,695.90	0.148	221,437.10	0.154
Jul	-	-	-	-	269,400.40	0.181	291,416.80	0.196
Aug	16,683.99	0.011	26,875.88	0.018	381,669.10	0.257	402,856.70	0.271
Sep	4,506.91	0.003	5,273.76	0.004	292,691.10	0.203	333,259.60	0.231
Oct	6,627.64	0.004	7,231.92	0.005	172,077.50	0.116	162,338.50	0.109
Nov	3,035.20	0.002	448.28	0.000	167,825.50	0.117	163,857.80	0.114
Dec	7,069.65	0.005	3,244.80	0.002	368,787.10	0.248	399,958.50	0.269
ALL Year	150,748.90	0.009	159,733.30	0.009	2,960,807.00	0.167	3,121,664.00	0.178

บรรณานุกรม

- [1] นาย ฉันทวุฒิ พีชผล และ นาย พิชิต สันติกุลานนท์, **คู่มือเรียน Visual Basic 6, Provision, 2544**
- [2] นาย วรพล พัวรัตนอรุณกรและคณะ, **ข้อกำหนดสำหรับการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้า, ปรินซิเพิลของวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2549**
- [3] บริษัท เพลอร์ เอ็นจิเนียริ่ง คอนซัลแตนต์ส์, **"โครงการจัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทย," แผนที่ศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทย, กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2545**
- [4] ศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย, **รายงานฉบับสมบูรณ์การศึกษาจัดทำแผนแม่บทการผลิตไฟฟ้าโดยชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง เล่ม2, กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2542**
- [5] Economic Development Branch BC Ministry of Sustainable Resource Management, **Small Hydro Generation Building Block Profile, Stothert Engineering Ltd., March 2003**
- [6] Mark Tamburrini, **A Feasibility Study for a Microhydro Installation for the Strangford Lough Wildfowlers & Conservation Association, Energy Systems Research Unit Department of Mechanical Engineering University of Strathclyde, Glasgow UK, September 2004**
- [7] Professor M.V. Deshpande, **Elements of Electrical Power Station Design, third editon, Wheeler publishing, 1986**
- [8] Sathyajith Mathew, **Wind Energy Fundamental Resource Analysis and Economic, Springer, 2006.**
- [9] Thomas Ackermann, **Wind Power in Power Systems, Chichester, John Wiley & Sons, Ltd., 2005.**
- [10] http://www.egat.co.th/re/egat_wind/wind_technology.htm



ภาคผนวก

Code Program Visual Basic 6.0

```
Option Explicit
```

```
Public t As Single
```

```
Public v1, v2, v3, n, ratedpower, ea1 As Single
```

```
Public vm, km, cm As Single
```

```
Dim k, c As Single
```

```
Dim strConn As String
```

```
Dim Conn As New ADODB.Connection
```

```
Dim rs As New ADODB.Recordset
```

```
Private Sub Command_backdistribution_Click()
```

```
    Frame_distribution.Enabled = False
```

```
    Option_weibull.Enabled = False
```

```
    Option_rayleigh.Enabled = False
```

```
    Frame_windturbine.Enabled = True
```

```
    Option_datawindturbine.Enabled = True
```

```
    Option_newwindturbine.Enabled = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command_backrayleigh_Click()
```

```
    Frame_rayleigh.Enabled = False
```

```
    Option_newplace.Enabled = False
```

```
    Option_selectplace.Enabled = False
```

```
    Label_krayleigh.Enabled = False
```

```
    Label_crayleigh.Enabled = False
```

```
    Label_mpers1.Enabled = False
```

```
    Label_mpers2.Enabled = False
```

```
    Label_vm1rayleigh.Enabled = False
```

```
    Label_vm2rayleigh.Enabled = False
```

```
    Adodc2.Enabled = False
```

```
    Frame_distribution.Enabled = True
```

```
    Option_weibull.Enabled = True
```

```
    Option_rayleigh.Enabled = True
```

```
End Sub
```

```

Private Sub Command_backweibull_Click()
    Frame_weibull.Enabled = False
    Option_knowkc.Enabled = False
    Option_unknowkc.Enabled = False
    Frame_distribution.Enabled = True
    Option_weibull.Enabled = True
    Option_rayleigh.Enabled = True

```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command_backwindturbine_Click(Index As Integer)
```

```

    Frame_windturbine.Enabled = False
    Option_datawindturbine.Enabled = False
    Option_newwindturbine.Enabled = False
    Frame_duration.Enabled = True
    Label_duration.Enabled = True

```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command_caculateinputkc_Click()
```

```

    k = Text_k.Text
    c = Text_c.Text
    ea1 = (t * ratedpower) / ((v2 ^ n) - (v1 ^ n))

```

```
Dim i, a As Single
```

```
a = 0
```

```
For i = v1 To v2 Step 0.001
```

```
    a = a + 1
```

```
Next
```

```
Dim vi(25000), b As Single
```

```
b = v1
```

```
For i = 0 To a
```

```
    vi(i) = b
```

```
    b = b + 0.001
```

```
Next
```

```
Dim eb As Single
```

```
eb = (t * ratedpower) * ((2.71828 ^ -(v2 / c) ^ k)) - (2.71828 ^
    -(v3 / c) ^ k)))
```

```
Dim ealoop(25000) As Single
```

```
For i = 0 To a
```

```
    ealoop(i) = ((vi(i) ^ n) - (v1 ^ n)) * (k / c) * ((vi(i) / c) ^ (k - 1)) *
        (((2.71828 ^ -(vi(i) / c) ^ k)))) * 0.001
```

```
Next
```

```
Dim sum As Single
```

```
sum = 0
```

```
For i = 0 To a
```

```
    sum = sum + ealoop(i)
```

```
Next
```

```
Text_Et.Text = (sum * ea1) + eb
```

```
Dim j As Variant, result As Variant
```

```
j = Text_Et.Text / (t * ratedpower)
```

```
result = Round(j, 5)
```

```
Text_Cf.Text = result
```

```
Frame_inputkc.Enabled = False
```

```
Frame_graphrayleigh.Visible = False
```

```
Label_k.Enabled = False
```

```
Label_c.Enabled = False
```

```
Frame_graphweibull.Enabled = True
```

```
Frame_graphweibull.Visible = True
```

```
Frame_resultetcf.Enabled = True
```

```
MSChart1.Visible = True
```

```
Label1.Visible = True
```

```
Label3.Visible = True
```

```
Label6.Visible = True
```

```
Label_Et.Enabled = True
```

```
Label_Cf.Enabled = True
```

```
'Graph-----
```

```
Dim vig(249) As Single
```

```
Dim bg, vg1, Row As Single
```

```
MSChart1.chartType = VtChChartType2dLine
```

```

MSChart1.RowCount = 250
MSChart1.ColumnCount = 1
vg1 = 0
bg = vg1
For i = 0 To 249
    vig(i) = bg
    bg = bg + 0.1
Next
i = 0
For Row = 1 To 250
    MSChart1.Row = Row
    MSChart1.Data = (k / c) * ((vig(i) / c) ^ (k - 1)) * (2.71828 ^ (-1 *
        ((vig(i) / c) ^ k)))
    i = i + 1
Next Row

```

End Sub

Private Sub Command_backdatawindturbine_Click(Index As Integer)

```

Frame_datawindturbine.Enabled = False
Adodc1.Enabled = False
Label_datawindturbinename.Enabled = False
Label_datacutin.Enabled = False
Label_dataratedv.Enabled = False
Label_datacutout.Enabled = False
Label_dataslope.Enabled = False
Label_dataratedpower.Enabled = False
Frame_windturbine.Enabled = True
Option_datawindturbine.Enabled = True
Option_newwindturbine.Enabled = True

```

End Sub

Private Sub Command_enterdatawindturbine_Click(Index As Integer)

```

v1 = Text_datacutin.Text
v2 = Text_dataratedv.Text

```

```

v3 = Text_datacutout.Text
n = Text_dataslope.Text
ratedpower = Text_dataratedpower.Text
Frame_datawindturbine.Enabled = False
Adodc1.Enabled = False
Label_datawindturbine.Enabled = False
Label_datacutin.Enabled = False
Label_dataratedv.Enabled = False
Label_datacutout.Enabled = False
Label_dataslope.Enabled = False
Label_dataratedpower.Enabled = False
Frame_distribution.Enabled = True
Option_weibull.Enabled = True
Option_rayleigh.Enabled = True
Option_weibull.Value = True

```

End Sub

```
Private Sub Command_enterdistribution_Click(Index As Integer)
```

```

If Option_weibull.Value = True Then
    Frame_distribution.Enabled = False
    Frame_rayleigh.Visible = False
    Frame_rayleigh.Enabled = False
    Frame_weibull.Visible = True
    Frame_weibull.Enabled = True
    Option_knowkc.Enabled = True
    Option_unknowkc.Enabled = True
    Option_knowkc.Value = True
Elseif Option_rayleigh.Value = True Then
    Frame_distribution.Enabled = False
    Frame_weibull.Visible = False
    Frame_weibull.Enabled = False
    Frame_rayleigh.Visible = True
    Frame_rayleigh.Enabled = True
    Option_newplace.Value = True

```

```

Adodc2.Enabled = True
Option_newplace.Enabled = True
Option_selectplace.Enabled = True
Label_krayleigh.Enabled = True
Label_crayleigh.Enabled = True
Label_mpers1.Enabled = True
Label_mpers2.Enabled = True

```

```
End If
```

```

Option_weibull.Enabled = False
Option_rayleigh.Enabled = False

```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command_enterduration_Click()
```

```

t = TextBox_duration.Text
Frame_duration.Enabled = False
Label_duration.Enabled = False
Frame_windturbine.Enabled = True
Option_datawindturbine.Enabled = True
Option_newwindturbine.Enabled = True
Option_datawindturbine.Value = True

```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command_backinputkc_Click()
```

```

rame_inputkc.Enabled = False
Label_k.Enabled = False
Label_c.Enabled = False
Frame_weibull.Enabled = True
Option_knowkc.Enabled = True
Option_unknowkc.Enabled = True

```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command_backnewwindturbine_Click(Index As Integer)
```

```

Frame_newwindturbine.Enabled = False
Label_newwindturbine.Enabled = False

```

```

Label_newcutin.Enabled = False
Label_newratedv.Enabled = False
Label_newcutout.Enabled = False
Label_newslope.Enabled = False
Label_newratedpower.Enabled = False
Frame_windturbine.Enabled = True
Option_datawindturbine.Enabled = True
Option_newwindturbine.Enabled = True

```

End Sub

```

Private Sub Command_calculaterayleigh_Click(Index As Integer)
    ea1 = (t * ratedpower) / ((v2 ^ n) - (v1 ^ n))
    Dim i, a As Single
    a = 0
    For i = v1 To v2 Step 0.001
        a = a + 1
    Next
    Dim vi(25000), b As Single
    b = v1
    For i = 0 To a
        vi(i) = b
        b = b + 0.001
    Next
    Dim eb As Single
    eb = (t * ratedpower) * ((2.71828 ^ (-(v2 / cm) ^ km)) - (2.71828 ^
        (-(v3 / cm) ^ km)))
    Dim ealoop(25000) As Single
    For i = 0 To a
        ealoop(i) = ((vi(i) ^ n) - (v1 ^ n)) * (km / cm) * ((vi(i) / cm) ^
            (km - 1)) * (((2.71828 ^ (-(vi(i) / cm) ^ km)))) * 0.001
    Next
    Dim sum As Single
    sum = 0
    For i = 0 To a

```

```
sum = sum + ealooop(i)
```

```
Next
```

```
Text_Et.Text = (sum * ea1) + eb
```

```
Dim j As Variant, result As Variant
```

```
j = Text_Et.Text / (t * ratedpower)
```

```
result = Round(j, 5)
```

```
Text_Cf.Text = result
```

```
Frame_rayleigh.Enabled = False
```

```
Frame_graphweibull.Visible = False
```

```
Option_newplace.Enabled = False
```

```
Option_selectplace.Enabled = False
```

```
Label_krayleigh.Enabled = False
```

```
Label_crayleigh.Enabled = False
```

```
Label_mpers1.Enabled = False
```

```
Label_mpers2.Enabled = False
```

```
Label_vm1rayleigh.Enabled = False
```

```
Label_vm2rayleigh.Enabled = False
```

```
Adodc2.Enabled = False
```

```
Frame_graphrayleigh.Visible = True
```

```
Frame_resultetcf.Enabled = True
```

```
MSChart2.Visible = True
```

```
Frame_graphrayleigh.Enabled = True
```

```
Label2.Visible = True
```

```
Label4.Visible = True
```

```
Label5.Visible = True
```

```
Label_Et.Enabled = True
```

```
Label_Cf.Enabled = True
```

```
'Graph-----
```

```
Dim vig(249) As Single
```

```
Dim bg, vg1, Row As Single
```

```
MSChart2.chartType = VtChChartType2dLine
```

```
MSChart2.RowCount = 250
```

```
MSChart2.ColumnCount = 1
```

```
vg1 = 0
```

```

bg = vg1
For i = 0 To 249
    vig(i) = bg
    bg = bg + 0.1
Next
i = 0
For Row = 1 To 250
    MSChart2.Row = Row
    MSChart2.Data = (1.57 * (vig(i) / vm ^ 2)) * (2.71828 ^
        (-1 * (0.78539 * ((vig(i) / vm) ^ 2))))
    i = i + 1
Next Row
End Sub

Private Sub Command_enterweibull_Click()
    If (Option_unknowkc.Value = True) Then
        Form2.Show
        Frame_weibull.Enabled = False
        Frame_inputkc.Enabled = True
    ElseIf (Option_knowkc.Value = True) Then
        Frame_weibull.Enabled = False
        Frame_inputkc.Enabled = True
    End If
    Option_knowkc.Enabled = False
    Option_unknowkc.Enabled = False
    Label_k.Enabled = True
    Label_c.Enabled = True
End Sub

Private Sub Command_enterwindturbine_Click(Index As Integer)
    If Option_datawindturbine.Value = True Then
        Frame_windturbine.Enabled = False
        Frame_newwindturbine.Visible = False
        Frame_newwindturbine.Enabled = False

```

```

Frame_datawindturbine.Visible = True
Frame_datawindturbine.Enabled = True
Adodc1.Enabled = True
Label_datawindturbine.Enabled = True
Label_datacutin.Enabled = True
Label_dataratedv.Enabled = True
Label_datacutout.Enabled = True
Label_dataslope.Enabled = True
Label_dataratedpower.Enabled = True
Elseif Option_newwindturbine.Value = True Then
Frame_windturbine.Enabled = False
Frame_datawindturbine.Visible = False
Frame_datawindturbine.Enabled = False
Frame_newwindturbine.Visible = True
Frame_newwindturbine.Enabled = True
Label_newwindturbine.Enabled = True
Label_newcutin.Enabled = True
Label_newratedv.Enabled = True
Label_newcutout.Enabled = True
Label_newslope.Enabled = True
Label_newratedpower.Enabled = True
End If
Option_datawindturbine.Enabled = False
Option_newwindturbine.Enabled = False

```

End Sub

```
Private Sub Command_exitresultefcf_Click()
```

```
    Dim response As Variant
```

```
    response = MsgBox("Do you want to exit program?", vbYesNo +
vbQuestion, "Exit")
```

```
    If response = vbYes Then
```

```
        Unload MDIForm1
```

```
    End If
```

End Sub

```
Private Sub Command_hintdistribution_Click()
```

```
    Form3.Show
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command_hintduration_Click()
```

```
    Form4.Show
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command_savenewwindturbine_Click(Index As Integer)
```

```
    Dim lngRows As Long
```

```
    Dim sqlAdd As String
```

```
    strConn = "Provider=Microsoft.Jet.OLEDB.4.0;Data Source= " &  
App.Path & "
```

```
    \dbproject.mdb;Persist Security Info=False"
```

```
    With Conn
```

```
        If .State = adStateOpen Then Close
```

```
        .ConnectionString = strConn
```

```
        .Open
```

```
    End With
```

```
    sqlAdd = "Insert into wind_turbine
```

```
(w_name,w_cut_in, w_rated, w_cut_out, w_ve_power, w_re_power) "
```

```
sqlAdd = sqlAdd & " values ( " & Text_newwindturbinename.Text & " ,
```

```
" & Text_newcutin.Text & " , " & Text_newratedv.Text & " ,
```

```
" & Text_newcutout.Text & " , " & Text_newslope.Text & " ,
```

```
" & Text_newratedpower.Text & " )" "
```

```
Conn.Execute sqlAdd, lngRows
```

```
If (lngRows = 1) Then
```

```
    MsgBox ("Insert record successfully.")
```

```
Else
```

```
    MsgBox ("Insert record failed.")
```

```
End If
```

```
Conn.Close
```

```
End Sub
```

Private Sub Command_enternewwindturbine_Click(Index As Integer)

v1 = Text_newcutin.Text
 v2 = Text_newratedv.Text
 v3 = Text_newcutout.Text
 n = Text_newslope.Text
 ratedpower = Text_newratedpower.Text
 Frame_newwindturbine.Enabled = False
 Label_newwindturbinename.Enabled = False
 Label_newcutin.Enabled = False
 Label_newratedv.Enabled = False
 Label_newcutout.Enabled = False
 Label_newslope.Enabled = False
 Label_newratedpower.Enabled = False
 Frame_distribution.Enabled = True
 Option_weibull.Enabled = True
 Option_rayleigh.Enabled = True
 Option_weibull.Value = True

End Sub

Private Sub Command_backresultetcf_Click()

Frame_graphweibull.Enabled = False
 Frame_graphrayleigh.Enabled = False
 Frame_resultetcf.Enabled = False
 MSChart1.Visible = False
 MSChart2.Visible = False
 Label_Et.Enabled = False
 Label_Cf.Enabled = False
 Label1.Visible = False
 Label2.Visible = False
 Label3.Visible = False
 Label4.Visible = False
 Label5.Visible = False
 Label6.Visible = False
 Frame_distribution.Enabled = True

```

Option_weibull.Enabled = True
Option_rayleigh.Enabled = True

```

```
End Sub
```

```
Private Sub menu_exit_Click()
```

```
    End
```

```
End Sub
```

```
Private Sub menu_new_Click()
```

```
    Unload Form1
```

```
    Form1.Show
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command_SaveRayleigh_Click(Index As Integer)
```

```
    Dim lngRows As Long
```

```
    Dim sqlAdd As String
```

```
    strConn = "Provider=Microsoft.Jet.OLEDB.4.0;Data Source=" &  
App.Path & "
```

```
    \dbproject2.mdb;
```

```
    Persist Security Info=False"
```

```
    With Conn
```

```
        If .State = adStateOpen Then Close
```

```
        .ConnectionString = strConn
```

```
        .Open
```

```
    End With
```

```
    sqlAdd = "Insert into WindSpeed (Name,WindSpeed) "
```

```
    sqlAdd = sqlAdd & " values ( " & Text_newnameplace.Text & " ,
```

```
    " & Text_newwindspeedvm.Text & " )"
```

```
    Conn.Execute sqlAdd, lngRows
```

```
    If (lngRows = 1) Then
```

```
        MsgBox ("Insert record successfully.")
```

```
    Else
```

```
        MsgBox ("Insert record failed.")
```

```
    End If
```

```
Conn.Close
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command_TableVm_Click(Index As Integer)
```

```
Form6.Show
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()
```

```
Label_duration.Enabled = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Option_newplace_Click()
```

```
If Option_newplace.Value = True Then
```

```
Text_newnameplace.Enabled = True
```

```
Text_newwindspeedvm.Enabled = True
```

```
Label_mpers1.Enabled = True
```

```
Label_vm1rayleigh.Enabled = True
```

```
Text_nameplace.Enabled = False
```

```
Text_windspeedvm.Enabled = False
```

```
Label_mpers2.Enabled = False
```

```
Adodc2.Enabled = False
```

```
Label_vm2rayleigh.Enabled = False
```

```
End If
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Option_selectplace_Click()
```

```
If Option_selectplace.Value = True Then
```

```
Text_newnameplace.Enabled = False
```

```
Text_newwindspeedvm.Enabled = False
```

```
Label_mpers1.Enabled = False
```

```
Label_vm1rayleigh.Enabled = False
```

```
Text_nameplace.Enabled = True
```

```
Text_windspeedvm.Enabled = True
```

```
Label_mpers2.Enabled = True
```

```

Adodc2.Enabled = True
Label_vm2rayleigh.Enabled = True

```

```
End If
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Text_newwindspeedvm_Change()
```

```

If Option_newplace.Value = True Then
vm = Text_newwindspeedvm.Text
If vm = "" Then vm = 0
cm = (2 * vm) / 1.772453851
Elseif Option_selectplace.Value = True Then
vm = Text_windspeedvm.Text
If vm = "" Then vm = 0
cm = (2 * vm) / 1.772453851
End If
km = 2
Text_krayleigh.Text = km
Text_crayleigh.Text = cm

```

```
End Sub
```

```
Private Sub Text_windspeedvm_Change()
```

```

If Option_newplace.Value = True Then
vm = Text_newwindspeedvm.Text
If vm = "" Then vm = 0
cm = (2 * vm) / 1.772453851
Elseif Option_selectplace.Value = True Then
vm = Text_windspeedvm.Text
If vm = "" Then vm = 0
cm = (2 * vm) / 1.772453851
End If
km = 2
Text_krayleigh.Text = km
Text_crayleigh.Text = cm

```

```
End Sub
```

ประวัติผู้จัดทำ



ชื่อ นาย ณัฐวุฒิ พิทักษ์ธีระธรรม (เป้)

วันเกิด : 15 กรกฎาคม 2528

ที่อยู่ : 34 ซ.ประวิทย์และเพื่อน9 สุขุมวิท101/1 ถ.สุขุมวิท
พระโขนง จ.กรุงเทพมหานคร 10260

โทรศัพท์ : 081-7130779

E-mail : pepelfc@hotmail.com



ชื่อ นาย อธิป ด่านกุล (ตี้)

วันเกิด : 31 มีนาคม 2528

ที่อยู่ : 33/36 ม.ลาดพร้าว ซ.ศรีदान14 ถ.ศรีนครินทร์
ต.บางแก้ว อ.บางพลี จ.สมุทรปราการ 10540

โทรศัพท์ : 086-5997006

E-mail : ship_tee@hotmail.com



ชื่อ นาย อภินันท์ ไหลพานิช (ปิง)

วันเกิด : 11 กรกฎาคม 2529

ที่อยู่ : 479/478 ซ.สุทธิพร ถ.ประชาสงเคราะห์ ดินแดง
จ.กรุงเทพมหานคร 10320

โทรศัพท์ : 089-1050147

E-mail : lukping@hotmail.com



ชื่อ นาย อาทิตย์ ทองถาวรวงศ์ (ติน)

วันเกิด : 15 ธันวาคม 2528

ที่อยู่ : 527/4-5 หมู่7 ต.ท่าตะโก อ.ท่าตะโก
จ.นครสวรรค์ 60160

โทรศัพท์ : 086-6800464

E-mail : atit_stepe_g@hotmail.com